

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**FÍSICA AMBIENTAL E TEORIA DA COMPLEXIDADE:
POSSIBILIDADES DE ENSINO NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

MIGUEL JORGE NETO

PROF. DR. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA

Orientador

PROF.^a DR.^a IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO

Co-orientadora

Cuiabá, MT, Abril de 2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**FÍSICA AMBIENTAL E TEORIA DA COMPLEXIDADE:
POSSIBILIDADES DE ENSINO NA
EDUCAÇÃO BÁSICA**

MIGUEL JORGE NETO

*Dissertação apresentada ao programa de
Pós-graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para a obtenção do título
de Mestre em Física Ambiental.*

PROF. DR. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA
Orientador

PROF.^a DR.^a IRAMAIA JORGE CABRAL DE PAULO
Co-orientadora

Cuiabá, MT, Abril de 2008

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa Denise, que trouxe luz à minha vida, à minha filha, Ana Vitória, que me inspira a mudar o mundo, e em memória de minha avó, Iramaia, que sempre torceu por mim.

AGRADECIMENTOS

- * Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, por sua paciência, pelas orientações preciosas, pela confiança depositada e pelo trabalho exemplar e pioneiro à frente desse programa de pós-graduação;
- * À Prof.^a Dr.^a Iramaia Jorge Cabral de Paulo por suas orientações preciosas, por seu apoio incondicional, pela energia e tempo despendidos e, principalmente, por me permitir compartilhar de um ideal pedagógico verdadeiramente capaz de mudar o mundo;
- * Ao Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo, por sua contribuição inestimável e pela amizade que me inspira a ir, audaciosamente, muito além de meus limites;
- * Aos colegas e amigos que tanto me auxiliaram nessa jornada: Ândrea, Osvaldo (Fú), Roberto, Ludymilla e Vicente;
- * Ao amigo e professor Denilton Carlos Gaio por sua disposição infinita em me ajudar;
- * Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes pelo auxílio e amizade;
- * Aos Profs. Drs. José Holanda Campelo Júnior, Francisco de Almeida Lobo, Carmen Eugenia Rodriguez Ortiz, Carlo Ralph De Musis e Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, por terem me apresentado os conceitos, teorias e ferramentas fundamentais à pesquisa em Física e Meio Ambiente;
- * À Prof.^a Derli Cléria Silva César e à equipe de professores do Colégio Salesiano São Gonçalo pela acolhida e colaboração;
- * Aos amigos e colegas de pesquisa, Flair e Paulo;
- * À amiga Soilce por todo o carinho e ajuda;
- * Aos demais colegas do curso;
- * Aos meus pais, Norivaldo e Clarice, a quem devo tudo.

SUMÁRIO

DE FIGURAS.....	vi
DE QUADROS.....	viii
DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	ix
.....	x
.....	xi
. INTRODUÇÃO.....	1
.1. PROBLEMÁTICA.....	1
.2. JUSTIFICATIVA.....	2
. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
.1. TEORIA DA COMPLEXIDADE.....	4
.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – PARADIGMA E TENTATIVAS DE INSERÇÃO DA TEORIA DA COMPLEXIDADE.....	8
.3. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL.....	13
.4. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA.....	15
. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
.1. DELINEAMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
.2. PLANO DE AÇÃO.....	19
.3. O CONTEXTO DA PESQUISA.....	21
.4. COMPLEXIDADE NA PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE.....	22
.5. COMPLEXIDADE – UM CURSO DE FUNDAMENTOS CONCEITUAIS.....	24
.5.1. O curso de extensão – primeiro encontro.....	25
.5.2. O curso de extensão – segundo encontro.....	31
.5.3. O curso de extensão – terceiro encontro.....	35
.5.4. O curso de extensão – quarto encontro.....	39
.5.5. O curso de extensão – quinto encontro.....	42
. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
.1. OS INSCRITOS NO CURSO DE EXTENSÃO E A EVASÃO.....	45

.2.	MAPAS CONCEITUAIS DO CURSO DE EXTENSÃO.....	46
.3.	ENTREVISTAS COM PARTICIPANTES DO CURSO DE EXTENSÃO.....	51
.4.	A TURMA DO MESTRADO	65
.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
.	BIBLIOGRAFIA.....	75
.1.	BIBLIOGRAFIA CITADA	75
.2.	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	78
	81
	da proposta.....	81

LISTA DE FIGURAS

1 - O Homem e o Meio ambiente: questões iniciais	26
2 - Princípios da Filosofia Cartesiana	27
3 - A Natureza subordinada ao Homem.....	27
4 - Consequências do pensamento cartesiano: a fragmentação	28
5 - Movimentos anti-cartesianos na literatura.....	28
6 - Movimentos anti-cartesianos nas artes plásticas	29
7 - Movimentos anti-cartesianos nas ciências.....	29
8 - Ilya Prigogine e a Teoria da Complexidade	30
9 - Fractais: a Matemática descobrindo novos aspectos da Natureza	31
10 - Os três regimes de comportamento na Natureza e a equação logística	32
11 - Parâmetro de controle: novo elemento a ser observado	32
12 - As imagens de Marte, da Terra e de Vênus, ilustram como a densidade de energia solar é parâmetro de controle para o comportamento atmosférico.	33
13 - Teorias de evolução: seleção natural x endossimbiose.....	34
14 - Formação dos recifes e lagoas costeiras: auto-regulação da salinidade nos oceanos.....	34
15 - Acoplamento estrutural.....	35
16 - Períodos glaciais ao longo do tempo	36
17 - Glaciações e as mudanças na superfície do planeta.....	36
18 - Albedo e retroalimentações na dinâmica das glaciações	37
19 - Efeito estufa, ciclo do CO ₂ e os seres vivos	37
20 - A concentração de CO ₂ na atmosfera e as variações globais da temperatura... 38	38
21 - A crise de percepção: modificações climáticas e o aumento do CO ₂ na atmosfera.....	38
22 - Células de Bénard: um fenômeno termodinâmico complexo.....	39
23 - Células de Bénard: correlações espaciais e a ordem fora do equilíbrio.....	40
24 - Fenômenos complexos na atmosfera	40
25 - Degelo na Antártida: um indicador de mudanças climáticas.....	41
26 - Antártida: 13,7 milhões de km ² cobertos por gelo.....	41
27 - A Economia: um sistema complexo	42
28 - Paradigma Complexo x Cartesiano	43
29 - Documentário: uma verdade inconveniente	43
30 - Al Gore em uma de suas apresentações.....	43
31 - Participantes do curso de extensão e a evasão.....	45

32 - Mapa conceitual elaborado pelo 1º grupo de professores.....	47
33 - Mapa conceitual elaborado pelo 2º grupo de professores	48
34 - Mapa conceitual elaborado pelo 3º grupo de professores	48
35 - Mapa conceitual elaborado pelo 4º grupo de professores.....	49
36 - Mapa conceitual elaborado pelo 5º grupo de professores	50
37 – Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (01).....	66
38 – Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (02).....	66
39 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (03)	67
40 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (04)	68
41 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (05)	68
42 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (06)	69

LISTA DE QUADROS

1 - Séries (anos) em que atuam os professores participantes	51
2 - Componentes curriculares e experiência docente dos professores entrevistados	52
3 - Avaliação do curso pelos professores participantes	53
4 - O que poderia ter sido diferente no curso, segundo os professores	54
5 - Respostas dos professores sobre contatos prévios com a TC	55
6 - As mudanças climáticas globais nas disciplinas dos participantes.....	56
7 - Os fenômenos ligados às mudanças climáticas globais nas disciplinas dos participantes	56
8 - A TC e a compreensão sobre as mudanças climáticas globais	58
9 - A possibilidade de inserção de conceitos da TC na educação básica.....	59
10 - Os projetos após o curso de extensão	59
11 - Disciplinas e séries (anos) de atuação dos entrevistados.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

λ	Parâmetro de controle
ADN/DNA	Ácido desoxirribonucléico
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CO ₂	Dióxido de carbono
LBA	Experimento de Grande-Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
MC	Mapas conceituais
PCNs	Parâmetros Curriculares Nacionais
SET/TES	Teoria da Endossimbiose Sequencial
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TASC	Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica
TC	Teoria da Complexidade
UEFS	Universidade Estadual de Feira de Santana
UFBA	Universidade Federal da Bahia
USP	Universidade de São Paulo

RESUMO

JORGE NETO, M. *Física ambiental e teoria da complexidade: possibilidades de ensino na educação básica*. Cuiabá - MT, 2009. 99f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Investigou-se a possibilidade de inserção de tópicos de complexidade no ensino fundamental e médio por meio de uma experiência de ensino entre professores de Ciências da Natureza e Matemática. O enfoque investigativo seguiu os moldes da pesquisa qualitativa e com a preocupação em utilizar uma teoria de aprendizagem como suporte para a negociação de significados entre os participantes. Para implementação da proposta optou-se pela elaboração de material didático que abrangesse tanto uma revisão histórico-crítica dos estudos de complexidade quanto conceitos iniciais ligados ao tema, utilizando como referência a disciplina Teoria da Complexidade Aplicada ao Estudo do Meio Ambiente, do mestrado em Física Ambiental da UFMT. Esse material foi trabalhado na forma de um curso de extensão universitária de 20 horas para professores de uma grande e tradicional escola da cidade de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. A utilização de mapas conceituais e entrevistas como instrumentos de investigação indicaram uma generalizada preocupação acerca da ação antrópica e suas ligações com as mudanças climáticas globais. A maioria dos professores assumiu abordar o tema de forma pontual, utilizando seus conhecimentos gerais e específicos das disciplinas que lecionam. Por outro lado, uma investigação semelhante com alunos do mestrado na disciplina acima citada, indicou uma assimilação significativa dos principais conceitos da teoria. Apesar da assimilação parcial dos conceitos abordados por parte dos professores, houve movimentação no ambiente escolar no sentido de repensar as práticas pedagógicas em favor de uma abordagem mais unificada dos fenômenos naturais. Estes resultados e a aceitação do curso parecem indicar que a inserção de tópicos de complexidade no nível fundamental e médio é viável.

Palavras-chave: Ensino da Complexidade, mudanças climáticas, aprendizagem significativa.

ABSTRACT

JORGE NETO, M. *Environmental physics and theory of complexity: possibilities of teaching in basic education*. Cuiabá - MT, 2009. 99p. Master Thesis – Masters in Environmental Physics, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

It was investigated the possibility of inclusion of topics of complexity in elementary and high school through an experience of education among teachers of Natural Science and Mathematics. The approach followed the way of qualitative research, and also the concern of using a theory of learning as a support for the negotiation of meanings between participants. It was chosen to implement the proposal for the development of educational materials both a historical and critical review of studies of complexity as original concepts relating to the subject, using as reference the discipline of Complexity Theory applied to the Study of Environment, of Masters in Environmental Physics of UFMT. This material was worked as a university extension course of 20 hours for teachers in a traditional high school at the city of Cuiabá, Mato Grosso, Brazil. The use of conceptual maps and interviews as research instruments indicated a widespread concern about human action and its links with global climate change. Most teachers took on an ad hoc approach that kind of relationship, but without the achievement of specific concepts of the Theory of Complexity, using, to address this issue, their knowledge of specific subjects and those who teach. Moreover, a similar investigation with students of Masters in the discipline mentioned above, indicated a significant assimilation of key concepts of the theory. Despite the partial assimilation of the concepts addressed by teachers, there was movement in the school environment in order to rethink the teaching practices in favor of a more unified approach of natural phenomena. These results and the acceptance of the course suggests that the inclusion of topics of complexity in Higher Education is viable.

Keywords: Complexity Teaching, Global Climate Change, Significant Learning

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

A compreensão dos fenômenos ambientais sempre foi, em maior ou menor grau, uma questão ligada à sobrevivência do homem e do desenvolvimento das suas sociedades. A profunda modificação do ambiente natural e as mudanças climáticas em escala global têm instigado ainda mais o estudo de tais fenômenos. Entretanto, se por um lado a pesquisa ambiental se encontra em seu momento mais intenso, as ações humanas têm demonstrado pouca sensibilidade às respostas obtidas pela Ciência, o que sugere a carência de uma educação científica ambiental que permita à sociedade refletir sobre os resultados das pesquisas mais recentes.

A escola formal é a instituição legitimada pela sociedade para promover o indivíduo a uma condição de cidadão crítico e reflexivo, por meio de sua interação com conteúdos e conceitos considerados basilares ao entendimento do mundo no qual se encontra inserido. Em nosso país essa finalidade primordial esbarra em uma série de obstáculos que dificultam, quando não inviabilizam, sua implementação. A questão da infra-estrutura não pode ser esquecida, mas é necessário que se atente para um currículo que facilite uma aprendizagem significativa, isto é, que seja construída sobre conceitos relevantes dentro do contexto em que vivemos. O ensino das disciplinas agrupadas sob a temática “Ciências da Natureza e Matemática” sofre com a falta de laboratórios e instrumentos adequados, mas precisa insistir na revisão dos tópicos que elege como fundamentais se quiser realmente diminuir a distância entre o “fazer ciência” e o que efetivamente se ensina na Educação Básica.

Há uma variedade de organizações com propostas de educação ambiental, inclusive iniciativas dentro do nosso estado, mas não se percebe nestas uma preocupação em estabelecer vínculos entre a conscientização e a compreensão científica das modificações ambientais antrópicas. Mato Grosso tem sido frequentemente citado pela mídia, como grande produtor de grãos e pelo seu

desenvolvimento na pecuária, mas tem contabilizado de forma pouco responsável o alto custo ambiental dessas atividades. Entre campanhas bem intencionadas e pesquisas científicas parece haver uma lacuna onde a interação humana com o meio ambiente acaba se pautando prioritariamente por critérios sócio-econômicos.

O Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso tem atuado ativamente na formação de pesquisadores aptos, não apenas a lidar com os ecossistemas da nossa região, mas também capacitados para desenvolver um trabalho científico integrado e multidisciplinar. Essa formação é potencializada por um currículo que, desde o início, suscita uma visão global dos fenômenos naturais. Reside, portanto, na PGFA um grande potencial para a conscientização científico-ambiental da qual se necessita hoje.

1.2. JUSTIFICATIVA

As universidades federais, em especial a UFMT, têm uma responsabilidade para com a sociedade: produzir conhecimento relevante e transformador. Não podemos atuar como substitutos da escola de educação básica, cujo acesso é efetivamente garantido à grande maioria dos cidadãos, mas é possível que personifiquemos o papel de agentes instigadores. Se há uma defasagem por parte dos educadores ligados ao ensino de Ciências da Natureza de conceitos atuais e pertinentes ao real trabalho científico, nada mais justo do que restabelecer os vínculos entre a academia e esses profissionais.

Espera-se que o cidadão esclarecido tenha alguma capacidade de interagir e compreender o meio sócio-econômico-ambiental que o cerca, bem como lidar com as informações que recebe da mídia e de outros agentes “formadores de opinião”. É prerrogativa do professor da educação básica mediar o contato inicial (e por vezes único) desse indivíduo com o conhecimento cientificamente estabelecido. Quando esse educador não tem acesso ao conhecimento formal que deveria mediar ou não dispõe de facilitadores adequados à interação educando-conhecimento, é importante que lhe sejam providenciados os meios e mecanismos para minimizar essa situação. Neste ponto, nos propomos a desenvolver recursos teóricos e metodológicos que podem fazer a diferença para essa prática pedagógica.

Não é uma questão de atualizar simplesmente os conteúdos do nível básico de ensino, mas uma necessidade de prepararmos os professores para receberem de forma adequada o resultado das pesquisas científicas que se desenvolvem, grande parte à custa de seus investimentos e que podem efetivamente influenciar na qualidade de vida e nos rumos que um grupo social pode tomar.

Este trabalho tem por objetivo geral elaborar, implementar e avaliar uma proposta de transposição didática de tópicos essenciais à Física Ambiental, tendo como referência a disciplina Teoria da Complexidade Aplicada ao estudo do meio ambiente que tem caráter introdutório e obrigatório na formação dos pesquisadores da PGFA, possibilitando também aos professores de Ciências da Natureza e Matemática da Educação Básica, compreender as pesquisas que são desenvolvidas nesse âmbito e atuar como agentes de educação científico-ambiental. Figuram como objetivos específicos: a delimitação de tópicos da Teoria da Complexidade que sejam apropriados à proposta, a adaptação desses conceitos ao contexto da Educação Básica, a elaboração e aplicação do material didático propriamente dito, assim como das ferramentas de coleta de dados, apresentar e verificar a aceitação de uma teoria norteadora da aprendizagem e a avaliação dos significados atribuídos pelos professores diante dos temas propostos.

Dessa forma, espera-se contribuir de forma significativa não só com a melhoria da prática educativa, mas também permitir à comunidade escolar o acesso às pesquisas em Física Ambiental.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo busca apresentar e situar a TC no contexto das Ciências Naturais, descrever o novo paradigma sugerido pela Complexidade e elencar os trabalhos que mais se aproximam desta proposta.

A Teoria da Aprendizagem Significativa e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica completam este capítulo, compondo a fundamentação teórico-metodológica necessária a esta experiência de ensino-investigação.

2.1. TEORIA DA COMPLEXIDADE

A Teoria da Complexidade (TC) ou Ciência da Complexidade é um termo dado a um conjunto de conhecimentos a respeito de sistemas complexos adquiridos nas últimas décadas, na sua maioria após a década de 70. Entende-se por sistemas complexos os sistemas abertos, isto é, aqueles que estabelecem trocas (fluxos) com o meio e que, portanto, são influenciados por um grande número de variáveis.

O interesse crescente por essa área do conhecimento humano se deve à necessidade de se lidar com objetos de estudo que têm características de sistemas abertos, particularmente relacionados com os problemas da sociedade atual, como a economia globalizada e a violência urbana. Um desses objetos de estudo é o próprio meio ambiente. Como se sabe, devido ao quadro das mudanças climáticas globais, o estudo do meio ambiente tem sido considerado particularmente importante pela comunidade científica. Os ecossistemas são sistemas abertos que estabelecem trocas de energia, matéria e quantidade de movimento com o entorno. A compreensão de como se dão os principais processos que regem a dinâmica dos ecossistemas ainda está engatinhando e a Teoria da Complexidade tem sido considerada uma abordagem promissora para a melhoria da compreensão desses sistemas, uma vez que esses têm

as características fundamentais dos objetos de estudo da teoria (HOUGHTON, 2002).

Principalmente ao longo do século XX, o desenvolvimento da ciência em diversas áreas de conhecimento, tais como a Física, Química, Biologia, Ciências Sociais e a própria Matemática, lidando com sistemas complexos, demonstrou a existência de limitações importantes na ciência acadêmica tradicional que se estabelecera em instituições de ensino e pesquisa desde a época do Renascimento (CAPRA, 1996). A ciência tradicional baseada nos pressupostos racionalistas de René Descartes e na dinâmica determinista de Isaac Newton se estabelecera solidamente na descrição de sistemas isolados, incluindo o fato de que a sua principal metodologia consistia no estudo de amostras confinadas em laboratório, mantendo-se diversas variáveis sob controle. O estudo de tais sistemas, ao longo de quatro séculos, demonstrou que suas características fundamentais são a previsibilidade, a causalidade, sendo que seu comportamento pode ser descrito rigorosamente em termos de leis determinísticas. Nos dias de hoje, aos olhos da Teoria da Complexidade, denomina-se os sistemas nesse estado (isolado) sistemas em equilíbrio.

Contudo, quando a ciência passou a se dedicar ao estudo de sistemas abertos, ficou claro que as condições de equilíbrio não poderiam ser aplicadas. Uma das áreas do conhecimento humano pioneiras na constatação desse fato foi a Física Quântica (embora, anteriormente, as teorias de Darwin e Boltzmann já houvessem abdicado do determinismo). Os cientistas quânticos descobriram o quão dramaticamente os seus próprios instrumentos de medida interferiam com os seus objetos de estudo: os átomos e seus constituintes. Descobriram que a única maneira de explorarem o mundo microscópico é através do estabelecimento de trocas de energia, matéria e quantidade de movimento com o sistema estudado, portanto jamais poderiam ser tidos como sistemas isolados. O comportamento desses sistemas mostrou-se singularmente diferente dos sistemas em equilíbrio: não podiam ser concebidos de forma determinista e causal, mas, no seu comportamento, a aleatoriedade e a incerteza desempenham papel fundamental. Os resultados da Física Quântica tiveram um profundo impacto junto à comunidade científica, sendo que diversos nomes importantes da ciência, como Albert Einstein, relutaram em aceitá-los. Outra parte da comunidade científica aceitou os resultados, mas sob a crença de que eles eram

exclusivos dos sistemas microscópicos – assim, o mundo macroscópico continuaria sendo determinista e racional. Contudo, o desenvolvimento da ciência em diversas áreas, ao longo do século XX, viria a estabelecer o contrário.

Já na década de 30, o trabalho de Kurt Goedel demonstrou que a matemática, tida como a mais exata das ciências, não pode ser considerada como absolutamente coerente e os conjuntos de teoremas até então desenvolvidos não estavam livres de falhas lógicas. Tal descoberta minimizou a perspectiva de que a matemática poderia oferecer um sistema exato e determinista para a ciência. A partir de então, esta área de conhecimento evoluiu incorporando novas linhas de investigação com uma visão mais probabilística do que exata, tais como a geometria fractal, o estudo das equações diferenciais não lineares e a lógica fuzzy.

Na biologia, o trabalho de Darwin já havia introduzido a aleatoriedade com um fator fundamental, já que sua hipótese básica era que, na reprodução, a prole não nasce com exatamente as mesmas características dos pais, mas com pequenas variações que são produzidas aleatoriamente (o que foge, é claro de uma perspectiva determinista). Posteriormente, a descoberta da estrutura do DNA, em meados do século XX, permitiu conhecer que a inexatidão na reprodução se deve a falhas no processo de replicação do DNA. Contudo, recentemente, a Teoria da Endossimbiose Sequencial (SET) da pesquisadora Lynn Margulis foi além de Darwin ao verificar que a evolução não se dá simplesmente balizada pela adaptação ao meio, uma vez que os seres vivos modificam o meio significativamente no processo. Assim, estabeleceu-se, na evolução das espécies, algo semelhante ao observado na Mecânica Quântica: seres vivos e meio se influenciam mutuamente, tal qual microsistema e observados, culminando num processo de evolução temporal que não é totalmente previsível (CAPRA, 2005).

Nas ciências humanas, os resultados das pesquisas qualitativa, fenomenológica e etnográfica praticamente extinguiram as tentativas de se descrever os grupos humanos na perspectiva quantitativa e determinista (BOGDAN e BIKLEN, 1994).

Contudo, foi somente a partir da década de 70 que tais resultados adquiriram uma congruência em torno da constituição de uma nova ciência, principalmente devido ao trabalho na área de físico-química, desenvolvido pelo Prêmio Nobel em

Química, Ilya Prigogine. Prigogine estudou extensivamente o comportamento de reações químicas mantidas fora do equilíbrio, descobrindo regularidades e desenvolvendo novos conceitos que levaram a uma compreensão mais clara de fenômenos complexos tais como a meteorologia, os ecossistemas e a interação atmosfera-biosfera (NICOLIS & PRIGOGINE, 1989). Foi ele, juntamente com alguns colaboradores, que nomeou este campo do conhecimento de Teoria da Complexidade e defendeu a idéia que seria uma nova ciência emergente. Contudo, até hoje não é consensual sobre se o conjunto de descobertas relacionadas a sistemas fora do equilíbrio de fato constitua uma nova ciência.

As pesquisas de Prigogine e colaboradores contribuíram para a elucidação de diversos fenômenos complexos, criando um conjunto razoavelmente vasto de novos conceitos, tais como auto-organização, parâmetro de controle e bifurcação. Um dos resultados mais impressionantes da sua obra foi ter descoberto que o comportamento observado para partículas subatômicas relacionado à não-causalidade, não-determinismo e não-localidade também se aplica ao comportamento de sistemas macroscópicos abertos fora do equilíbrio. Isso significa que os fenômenos complexos não são totalmente previsíveis, mas probabilísticos e sujeitos a transições abruptas de fase e, ainda, sujeitos a processos não locais, ou seja, sistemas muito distantes um do outro podem estar acoplados.

Juntamente com o trabalho de Prigogine, há que se destacar também as contribuições de James Lovelock, com o seu estudo da dinâmica da atmosfera (por exemplo, seu famoso modelo do Mundo das Margaridas) (LOVELOCK, 1995) e o conjunto de linhas de pesquisa consolidadas pelo grupo de prêmios Nobel (Murray Gell-Mann e Philip Anderson, Nóbéis de Física e Kenneth Arrow, Nobel de Economia), os quais fundaram, em 1982, o primeiro instituto oficialmente dedicado especialmente à Teoria da Complexidade: o Instituto de Santa Fé, próximo a Los Álamos, EUA (WALDROP, 1992). As linhas de pesquisa desse instituto extrapolam os limites de quaisquer áreas de conhecimento estabelecidas até então, abordando temas como a extinção dos dinossauros e civilizações, o desenvolvimento de hábitos humanos e o número de batimentos do coração dos seres vivos. Nos dias de hoje existem instituições dedicadas ao estudo da Complexidade em praticamente todos os países desenvolvidos e em praticamente todos os estados dos EUA.

Os resultados obtidos com a Teoria da Complexidade são atualmente utilizados em diversas áreas, como na meteorologia, dinâmica de populações e ecossistemas e particularmente na economia, área em que trabalham um grande número de cientistas “complexos” no mundo.

Assim sendo, esse novo ramo do conhecimento humano é de fundamental importância às ciências ambientais, uma vez que essas se propõem a estudar justamente sistemas abertos fora do equilíbrio: os ecossistemas e a sua interação com o entorno. Uma vez que a Teoria da Complexidade ainda é uma novidade dentro da academia, pesquisas a respeito de como ensiná-la e divulgá-la são importantes tanto para a área de ensino como para as próprias ciências ambientais. Nesse contexto, os conceitos-chave das ciências básicas também são fundamentais, e em particular os da Física. Conceitos como energia (bem como seus processos de conservação e transformação), entropia, calor, temperatura, transição de fase e momento são indispensáveis para a compreensão para a Teoria da Complexidade e sua aplicação nas ciências ambientais.

2.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – PARADIGMA E TENTATIVAS DE INSERÇÃO DA TEORIA DA COMPLEXIDADE

Ainda não há um consenso acadêmico se o estudo dos sistemas abertos fora do equilíbrio configura-se como uma nova ciência, o que se reflete na escassez de materiais que a divulguem e a quase inexistência de pesquisas sobre o ensino desses conhecimentos, limitando esta revisão.

Os conceitos e procedimentos introduzidos pela TC têm, de modo geral, obrigado os pesquisadores a caminhar da simplicidade (reducionismo) e causalidade restrita para abordagens mais fiéis à realidade (FIEDLER-FERRARA, 2003). Temos pois, uma verdadeira alternância de um paradigma clássico-cartesiano para algo diferente, mais abrangente e focado em situações menos idealizadas. Como já anunciava Khun (1962), a aceitação de um novo paradigma não se dá de forma confortável e é acompanhada por certa resistência, o que talvez justifique em parte o

atual descompasso entre as pesquisas científicas recentes e o ensino de ciências, mesmo nas graduações (HOFFMANN & FIEDLER-FERRARA, 2003).

Capra (2005) nos diz que a mudança é mais qualitativa do que quantitativa. A ênfase foi se deslocando dos objetos para as relações, da substância para o padrão caracterizando-se assim, um pensamento sistêmico que consiga enxergar os padrões de organização e as inter-relações subjacentes em sistemas complexos como o clima, os ecossistemas e a atmosfera.

As ciências naturais já trabalham há muito com o conceito de sistemas mas, via de regra, com muitas simplificações, as ditas situações ideais. Isso vem a contribuir para que o ensino de Física, Química, Biologia e as demais áreas do conhecimento dedicadas a decodificar a natureza se mostrem pouco familiares aos alunos nos diferentes níveis escolares.

“Durante um longo período, a Ciência avançou modelando sistemas naturais que podem ser descritos com poucas variáveis ou propondo descrições - mas não explicações - para fenômenos mais complexos,” (ALMEIDA, 2005).

A opção por abordagens menos complexas não é necessariamente consciente. Tanto pesquisadores quanto educadores se veem inseridos num paradigma científico robusto, com séculos de realizações satisfatórias tanto no âmbito da compreensão humana sobre o Universo quanto no desenvolvimento tecnológico.

Capra (2005) nos recorda que a ciência moderna começara no final do século XVI com Galileu Galilei, seus experimentos e o uso da linguagem matemática para formular as leis da natureza. Descartes, uma geração depois, introduziu a análise (a compreensão do todo pelo funcionamento das partes) como uma das etapas de seu novo método (um embrião do que viria a ser o método científico). Também foi ele o grande responsável por mesclar a álgebra e a geometria fundando a geometria analítica, tão presente nas futuras realizações científicas.

No século XVII, Isaac Newton usou o cálculo infinitesimal para descrever todos os movimentos possíveis de corpos sólidos em termos de um conjunto de equações diferenciais: “as equações do movimento de Newton”, como ficaram conhecidas (ALMEIDA, 2005).

Essa ciência mecanicista, calcada nos ideais traçados por Galileu, Descartes e Newton, se desenvolveu e conseguiu explicar muitos fenômenos que hoje poderiam

ser descritos como não complexos, propondo modelos matemáticos analiticamente tratáveis.

Os ‘objetivos’ do conhecimento científico, até a metade do século XX, eram a descoberta das leis necessárias e universais da natureza numa conexão reducionista. Majoritariamente imaginava-se ser sempre possível reduzir as explicações das propriedades de um sistema constituído por um grande número de unidades elementares interagentes ao conhecimento das propriedades simples dessas unidades (FIEDLER-FERRARA, 2003).

Não tivéssemos insistido em entender os sistemas abertos fora do equilíbrio com seus fluxos e mudanças contínuas, além da busca incessante pela compreensão das características e relações fundamentais dos organismos vivos, talvez não se mostrassem tão evidentes as limitações de nossa herança cartesiano-newtoniana.

Stewart (1989)¹ apud Capra (1996) diz que, apesar dos inúmeros sucessos, a modelagem da natureza baseada nas equações de Newton impõe suas próprias limitações: “Montar as equações é uma coisa, resolvê-las é totalmente outra.”

Somente na segunda metade do século passado fomos apresentados às novas possibilidades que a ciência moderna evitara explorar. Segundo Paulo et al. (2002), o ponto de partida da Complexidade enquanto ciência é o estudo de sistemas fora do equilíbrio. Os princípios gerais de uma “Termodinâmica do Não-Equilíbrio” foram estabelecidos por Ilya Prigogine (PRIGOGINE, 1996; NICOLIS & PRIGOGINE, 1989), Prêmio Nobel de 1977, o qual consolidou “complexidade” como um termo científico.

A busca por situações próximas ao equilíbrio é uma conduta que pode facilmente se agregar à postura do pesquisador por uma série de características desejáveis, como simetria, linearidade e previsibilidade. Entretanto, ao nos aproximarmos da realidade, onde as noções de instabilidade e caos não são raras, vislumbramos, segundo Prigogine (2002), os limites de validade dos conceitos da ciência dita “clássica” (em especial a Física).

¹ STEWART, I. – **Does God Play Dice?** Blackwell. Cambridge. Mass., 1989. apud CAPRA, F. – **A teia da vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos.** São Paulo. Ed. Cultrix. 2005. 298f. p.105.

(...) a complexidade encontra-se em algum lugar entre a ordem e o caos, entre a superfície espelhada de um lago e a turbulência de um maremoto. (...) A principal característica de um sistema ordenado é a sua previsibilidade (espacial ou temporal). Não é necessário conhecer o sistema como um todo para reconstruí-lo ou prever sua estrutura: o sistema é redundante. A desordem por outro lado, é causada pela ausência de invariância, isto é, pela ausência de transformações (não triviais) que não teriam qualquer efeito distinguível sobre o sistema. No limite isto significa que qualquer parte do sistema, por insignificante que seja, deve ser diferente ou independente de qualquer outra parte. Em um sistema de máxima desordem deve-se ter partículas com qualquer momento físico aparecendo e desaparecendo em qualquer instante no tempo e qualquer posição no espaço (PALLAZO, 2005).

Almeida (2004)² apud Bigliardi & Cruz (2005) afirmam que os postulados da complexidade, de forma resumida, ditam que o complexo comporta a incerteza, é marcado pela imprevisibilidade, é não determinístico, não linear e instável. Da mesma forma, os fenômenos complexos se constroem e se mantêm pela auto-organização; por serem sistemas abertos, irremediavelmente dependem do meio e com ele trocam informações (...)

Uma extensa gama de novas características tem sido observadas e estudadas nos chamados fenômenos complexos: não-linearidade, realimentação, acoplamento estrutural, auto-organização, emergência, sensibilidade à condições iniciais, não-localidade entre outras.

Em um contexto mais próximo, vemos que as questões fundamentais que norteiam o Experimento de Grande-Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), programa multidisciplinar que serviu de motivação para a criação da Pós-Graduação em Física Ambiental (PGFA), exigem uma abordagem complexa e multidisciplinar dos fenômenos, como consta no documento elaborado por Batistella et al. (2007):

(1) Como a Amazônia funciona como uma entidade regional?

² ALMEIDA, M. C. - **Mapa Inacabado da Complexidade**. In: SILVA, Aldo Aloísio Dantas; Galeano, Alex (orgs.). Geografia, Ciência do Complexus: ensaios transdisciplinares. Porto Alegre: Sulina, 2004. apud BIGLIARDI, R. V.; CRUZ, R. G. - **A Teoria da Complexidade como Base para o Enfrentamento da Crise Ambiental e da Racionalidade Teórico Instrumental**. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, v. 15, f. 149-156, 2005. p.151.

(2) Como as mudanças no uso da terra e no clima afetam as funções biológicas, químicas e físicas da Amazônia, incluindo a sustentabilidade da região e a influência da Amazônia no clima regional e global?

Apesar de a complexidade ter se instaurado na pesquisa científica, faz-se necessária uma reflexão sobre o retorno dessas pesquisas para a sociedade e se a mesma se encontra preparada para absorver esses resultados e agir de forma crítica. O meio natural para que se estabeleça esta relação é o de uma educação científica-ambiental que incorpore os conceitos da TC.

Paulo et al. (2002), novamente se adiantam em nos mostrar que a abordagem necessária exige uma mudança de postura com relação ao aprender.

“(...) porque a ênfase não é mais a relação causa-efeito, mas o processo (não é tão importante saber o porquê, mas o como). (...) não se pode compreender os processos dividindo-os por partes – seguindo o procedimento cartesiano – mas observando as múltiplas partes atuando conjuntamente.”

Desta forma, sugerem que a mudança já ocorra no currículo do ensino de nível médio. Reforça-se essa idéia a lenta inclusão de tópicos da Mecânica Quântica e Relatividade (ambas do começo do século passado) em oposição à relevância de tais assuntos.

Algumas iniciativas têm surgido sob a égide de uma pedagogia da complexidade, por exemplo: Diniz & Tomazello (2005) e Guimarães (2007) cujo expoente é Edgar Morin (MORIN, 2000). Mas esses pesquisadores têm se distanciado das ciências naturais e, por conseguinte, dos princípios fundamentais da Teoria da Complexidade, o que rende críticas quanto à profundidade da proposta (PAULO et al., 2002).

Mesmo no ensino superior, propostas mais próximas de uma formação científica contemporânea ainda são discretas e experimentais, como no trabalho de Hoffmann & Fiedler-Ferrara (2003), com acadêmicos do curso de Física da USP (bacharelado e licenciatura), ou exclusivas de programas de pós-graduação, como a disciplina de “Auto-Organização, Complexidade e Emergência” ministrada pelo professor Osvaldo Pessoa Jr. no Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências - UFBA/UEFS (PESSOA JR., 2001).

As incursões da TC na educação básica têm sido raras e se restringem à elaboração de materiais didáticos de apoio como CBPF (2005), artigos em periódicos de divulgação científica como Almeida (2005) e algumas ações focadas em questões específicas, como a atividade desenvolvida por Uema & Fiedler-Ferrara (2003), que exploraram uma das características de sistemas caóticos com alunos de ensino médio.

Em síntese, são escassas as referências na literatura à inserção de tópicos da TC no ensino em qualquer nível. Os trabalhos mais sugestivos são na verdade, tentativas de associação entre complexidade e uma nova visão de mundo, fundamentados principalmente em Edgar Morin, algo que foge ao escopo deste trabalho. Procuramos nos fundamentar na literatura básica dos principais autores da TC (Prigogine e Capra) e alguns artigos referentes ao ensino de tópicos de complexidade.

2.3. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

As atividades de ensino contemporâneas procuram estar fundamentadas em alguma teoria de aprendizagem que facilite o acesso do indivíduo aos novos conhecimentos que propõe. Esta proposta se baseia na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (1963) e em trabalhos posteriores.

Moreira & Masini (1982)³ apud Paulo (2001), fazem uma síntese do que vem a ser a aprendizagem significativa:

“(...) é o termo usado por David Ausubel, em sua teoria cognitiva que traduz a concepção de um processo pelo qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura do conhecimento do indivíduo. A nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específico existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se ancora em

³ MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. - **Aprendizagem Significativa, A Teoria de David Ausubel.** Editora Moraes. São Paulo. 1982. apud PAULO, I. J. C. - **A Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhague e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.** 2006. 235f. Tese (Doutorado em Enseñanza de las Ciencias), Universidad de Burgos. Burgos. Espanha. 2006.

conceitos relevantes pré-existent na estrutura cognitiva de quem aprende.”

Tais conceitos pré-existent são denominados *subsunçores* que, segundo Moreira (1997), pode ser um conceito abrangente e bem desenvolvido ou um conceito limitado e pouco desenvolvido.

Deve, entretanto, existir condições para que ocorra a aprendizagem significativa. A capacidade de que o material a ser aprendido seja relacionável com a estrutura cognitiva do aprendiz e a própria disposição do aprendiz em estabelecer relações substantivas e não-arbitrárias com este material são, segundo Ausubel, essenciais para uma efetiva aprendizagem significativa (MOREIRA; 1999).

Moreira (2005), afirma que a mente é conservadora, isto é, aprendemos a partir do que já possuímos em nossa estrutura cognitiva. Isso denota a importância de se desenvolver a aprendizagem com base no que o aprendiz já saiba.

Há princípios programáticos que visam facilitar a aprendizagem significativa (MOREIRA, 2005). Apresentar os conceitos mais gerais de um determinado conteúdo no início da instrução e, progressivamente, diferenciá-los em suas especificidades (*diferenciação progressiva*); explorar de modo explícito as relações entre conceitos e proposições (*reconciliação integradora*); estabelecer, sempre que possível, uma seqüência coerente (*organização seqüencial*) entre os tópicos, ou unidades de estudo, que serão explorados e, por último, a revisão para consolidar a estabilidade dos novos significados (consolidação)

Segundo Ausubel (2000), a estrutura cognitiva muda com o tempo, sendo a aprendizagem significativa processual. Assim, o aprendiz adquire novas idéias genéricas por meio de experiências, vivências, por descoberta, em um processo chamado formação de conceitos, que ocorre mais frequentemente em crianças em idade pré-escolar ou por assimilação de conceitos, relacionando novos atributos recebidos a idéias já relevantes estabelecidas na estrutura cognitiva, de modo não-arbitrário e não-literal, o que é predominante no processo de escolarização e na fase adulta.

Uma vez que uma nova informação é assimilada, tanto ela quanto o conceito subsunçor a ela relacionado já não são mais os mesmos. Ambos são modificados, ou reformulados, durante o processo de assimilação. Nessa etapa, tanto os conceitos

subsunçores (A) e as informações originais (a), quanto os correspondentes reformulados (A' e a') coexistem, e são dissociáveis; pode-se dizer que em algumas situações predomina a' e em outras A', dependendo do poder explicativo de cada um frente a necessidade de compreensão e/ou explicação da mesma.



Enquanto o subsunçor e a informação relevante originais são dissociáveis, o resultado da assimilação – subsunçor e informação modificados – fazem parte de um todo. Essa etapa é denominada de fase de retenção, uma vez que a nova informação pode ser recuperada com características que a identificam e a distinguem da idéia-âncora. Simultaneamente à fase de retenção, inicia-se um processo – chamado obliteração – em que a' acaba perdendo identidade, restando apenas A'. Trata-se da assimilação obliteradora, em que à nova informação (a) resta o papel de modificar, enriquecer, reelaborar, o conceito subsunçor (A), não ficando incorporada, com identidade, na estrutura cognitiva. Pode-se dizer nesse caso, que apesar de desempenhar um papel importante no processo de assimilação, a informação (a) é “esquecida” (MOREIRA & MASINI, 1982). Contudo, não se trata de esquecimento no sentido usual do termo, pois, de alguma maneira, a nova informação está incorporada ao subsunçor.

Dois recursos em especial, são potencialmente úteis no ensino e na avaliação da aprendizagem significativa: os mapas conceituais e os diagramas V.

Mapas conceituais são diagramas hierárquicos que indicam relações entre conceitos, numa tentativa de refletir a estrutura cognitiva formada pelo aprendiz para um determinado corpo de conhecimentos, já os diagramas V (também conhecidos como Vê epistemológicos de Gowin) são instrumentos heurísticos para a análise da estrutura do processo de produção de conhecimento (MOREIRA, 2005).

2.4. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

De forma prática, os recursos metodológicos necessários à nossa proposta devem implementar a aprendizagem significativa anteriormente descrita. Para isso,

buscamos fundamentos teóricos que norteiem a prática e que estejam inseridos no domínio da aprendizagem significativa.

Baseando-se nas idéias de Postman e Weingartner (1969), Moreira (2005), propõe nove princípios ou estratégias facilitadoras que permitam ao indivíduo construir significados numa perspectiva de criticidade, “isto é, de perceber o que é relevante para a sua participação efetiva em um mundo em constante e acelerada transformação de conceitos e valores” (PAULO; 2006). Esses princípios são:

1. **Princípio da interação social e do questionamento.** Ensinar/aprender perguntas ao invés de respostas.
2. **Princípio da não-centralidade do livro-texto.** Aprender a partir de diferentes materiais didáticos.
3. **Princípio do aprendiz como perceptor e representador.** Aprender que somos perceptores e representadores de mundo.
4. **Princípio do conhecimento como linguagem.** Aprender que a linguagem esta implicada em qualquer e em todas as tentativas humanas de perceber a realidade.
5. **Princípio da consciência semântica.** Aprender que o significado está nas pessoas e não nas palavras.
6. **Princípio da aprendizagem pelo erro.** Aprender que o homem aprende corrigindo seus erros
7. **Princípio da desaprendizagem.** Aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência.
8. **Princípio de incerteza do conhecimento.** Aprender que as perguntas são instrumentos de percepção e que definições e metáforas são instrumentos para o pensar.
9. **Princípio da não utilização do quadro de giz.** Aprender a partir de distintas estratégias de ensino.

Para que os professores, a quem nossa proposta é dirigida, possam atuar como agentes de educação científico-ambiental é importante, não apenas que construam de forma significativa e crítica os conceitos de complexidade, mas que sejam capazes de

convertê-los em ações instrucionais ligadas às suas respectivas disciplinas. Enxergam-se então, duas dimensões intimamente ligadas à implementação deste trabalho: propor caminhos para que os professores possam refletir e, se assim decidirem, modificar o *saber* e o *fazer*.

É preciso ainda determinar quais os pressupostos para a coleta de dados e como estes serão analisados para avaliar o êxito dos objetivos delineados inicialmente, ou seja, definir a essência da pesquisa, é o que será feito a seguir.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DELINEAMENTOS METODOLÓGICOS

Em virtude dos objetivos desta proposta acreditamos ser a pesquisa qualitativa o melhor enfoque investigativo a ser seguido. Conforme Bogdan & Biklen (1994), são cinco as características da investigação qualitativa:

1. *Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal. O comportamento humano é significativamente influenciado pelo contexto em que ocorre, de modo que, sempre que possível, o investigador deve se inserir no local de estudo.*

2. *A investigação qualitativa é essencialmente descritiva. Busca-se analisar os dados sem reduzi-los à simbologia matemática, respeitando-se a forma em que foram registrados ou transcritos.*

3. *Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos. Dissociar os processos dos resultados é deixar de verificar uma série de questões que podem revelar como os mesmos foram obtidos.*

4. *A análise dos dados tende a ser indutiva. As abstrações são construídas à medida que os dados são recolhidos e agrupados e não têm por objetivo confirmar hipóteses prévias.*

5. *O significado tem importância vital na abordagem qualitativa. A preocupação com as chamadas perspectivas participantes, isto é, o registro tão rigoroso quanto possível do modo como as pessoas interpretam os significados.*

É pela consciência das características inerentes à investigação que se pode determinar quais as abordagens e técnicas mais adequadas. Uma vez que esta proposta visa propiciar indicativos para possíveis mudanças curriculares,

procedimentais e atitudinais, e em virtude do envolvimento do pesquisador com o grupo escolhido é coerente a sua classificação como *pesquisa-ação*. Uma vez que segundo esses autores, a *pesquisa-ação* tem por objetivo investigar as relações sociais e conseguir mudanças em atitudes e comportamentos individuais. Seus traços essenciais são: análise, coleta de dados e conceitualização dos problemas; planejamento da ação, execução e nova coleta de dados para avaliá-la; repetição desse ciclo de atividades. Há muitas correntes de pesquisa-ação; no entanto, em todas elas é garantido um plano de ação baseado em objetivos, em um processo de acompanhamento e controle da ação planejada e no relato concomitante desse processo. Embora seu objetivo central consista em melhorar a prática em vez de gerar conhecimentos, entende-se que no âmbito desta pesquisa a construção de novos conhecimentos depende intimamente da compreensão do processo de mudanças pessoais a partir da reflexão-ação, o que possibilita o reconhecimento da realidade que se enfrenta na prática educativa em seu caráter concreto e sua engenhosa complexidade. A pesquisa-ação sinaliza para uma solução da questão da relação entre teoria e prática, tal como a percebem os professores.

A seguir será apresentado o desenho inicial do que foi planejado para o desenvolvimento do trabalho.

3.2. PLANO DE AÇÃO

Para verificar a viabilidade da inserção de tópicos da TC na Educação Básica, buscou-se um estabelecimento de ensino que contemplasse, ao mesmo tempo, a segunda etapa do ensino fundamental (5º ao 9º ano) e os três anos do ensino médio. Sob este critério, as escolas da rede particular de ensino mostraram-se mais indicadas, uma vez que as instituições escolares públicas municipais e estaduais tendem a optar por uma ou outra das etapas citadas. Uma grande escola particular chamou a atenção, não somente pelos vínculos anteriores com o pesquisador, mas principalmente pela intensa formação continuada propiciada pela instituição ao seu corpo docente, em especial no que se refere à elaboração de mapas conceituais. A experiência prévia desses professores com os MC poderia favorecer a exteriorização e análise dos significados atribuídos pelos professores no desenvolvimento deste trabalho.

Após a escolha da escola, criou-se a proposta de um curso de extensão para professores de Ciências da Natureza e Matemática em que se elencam tópicos da Teoria da Complexidade relacionados à pesquisa em Física Ambiental.

A sequência abaixo corresponde ao conteúdo programático do curso:

1. Origem e evolução histórica da Teoria da Complexidade
 - 1.1. Implicações filosóficas da Teoria da Complexidade
2. Regimes da Natureza
 - 2.1. Determinístico
 - 2.2. Quântico
 - 2.3. Caótico
3. Equação logística
 - 3.1. Constante, variável e parâmetro de controle
4. Algumas características das equações não-lineares
 - 4.1. Modelagem de fenômenos complexos
5. Bifurcações, instabilidades e transições de fase
 - 5.1. Exemplos de instabilidade em fenômenos ambientais
 - 5.2. Mudanças de fase
6. Acoplamento estrutural
 - 6.1. Teorias de evolução x acoplamento estrutural
 - 6.2. Lyn Margulis e a endossimbiose
 - 6.3. James Lovelock e a hipótese Gaia
7. Fenômenos complexos no meio ambiente
 - 7.1. Acoplamento estrutural e autoregulação em fenômenos ambientais
8. Mudanças climáticas globais

Para a implementação do curso elaborou-se um material didático que adaptou os tópicos relacionados ao contexto da Educação Básica, com enfoque no ensino de Ciências da Natureza e Matemática. Esse material integra apresentações multimídia, filmes e imagens que sintetizam os conceitos e propiciam a discussão e dos temas. As atividades são pautadas pela seqüência de ações facilitadoras da aprendizagem significativa crítica.

Para efetivação do trabalho, o pesquisador deve assumir uma postura de professor-mediador da aprendizagem, promovendo efetiva interação professor-aluno-material didático.

Pretende-se apurar, concomitantemente à transposição didática, a existência de subsunções sobre os temas em questão; a *posteriori*, será investigado as concepções e captação de significados pelos professores envolvidos.

A verificação da aprendizagem será feita utilizando entrevistas semi-estruturadas, mapas conceituais e dinâmica de exposição dialogada.

Pela descrição e registro dos dados obtidos nos processos citados será feita a análise:

- I. Da aplicabilidade do material elaborado;
- II. Da eficiência das técnicas utilizadas durante a transposição didática;
- III. Da percepção e aceitação dos conceitos selecionados;
- IV. Da capacidade de contextualização dos conceitos por parte dos professores;
- V. Da percepção e aceitação de uma teoria de aprendizagem;
- VI. Do potencial de inserção dos tópicos no currículo das componentes curriculares envolvidas.

3.3. O CONTEXTO DA PESQUISA

Duas situações de ensino foram estudadas nesta pesquisa: a disciplina de “Teoria da Complexidade Aplicada ao estudo do Meio Ambiente” do curso de mestrado em Física Ambiental (PGFA), da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, foi acompanhada no primeiro semestre letivo de 2008 e um curso de extensão para com professores que atuam no ensino fundamental e médio em uma escola de Cuiabá.

O curso de extensão “Fundamentos da Teoria da Complexidade com Abordagem em Mudanças Climáticas Globais” foi realizado em uma grande escola da rede particular de ensino desta capital. O grupo de participantes foi composto por professores de Ciências, Física, Química, Biologia, Matemática, Geografia e Artes. Este grupo de professores foi escolhido pelo histórico de escola em promover constantemente cursos de extensão com caráter de formação continuada aos seus professores preocupados com a qualidade de ensino oferecida pela escola. Alguns desses cursos foram sobre mapas conceituais (MC), inclusive enquanto era professor

da escola, o pesquisador participou de vários cursos, onde, na época era incentivado o uso de MC com os aprendizes nas diversas séries da educação básica. Em um contato prévio, foi verificado que a maioria dos professores candidatos a fazer o curso de TC, em sua maioria, eram os mesmos que haviam participado dos cursos de formação em MC. O que parecia um fator importante para o sucesso deste trabalho.

3.4. COMPLEXIDADE NA PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

O contato inicial com o ensino de Complexidade ligada à temática ambiental ocorreu, como já citado, dentro da PGFA. Tanto o escopo da disciplina quanto os encaminhamentos metodológicos adotados nos chamaram a atenção devido à sua singularidade dentro do contexto universitário; logo no início percebe-se a importância do domínio de conceitos fundamentais da Física, para a captação de significados e construção de conceitos da própria TC.

Até o final do ano letivo de 2008, o PGFA se manteve como o único curso desta Instituição com estudos envolvendo Complexidade, apesar de sua relevância para a pesquisa e ensino em outras áreas que lidam com questões relacionadas ao meio ambientes, tais como as engenharias florestal, sanitária, civil, elétrica, a geologia, agronomia e outras.

Por outro lado, cursos de graduação em Ciências Naturais não são famosos por suas abordagens em sintonia com as teorias de aprendizagem. A mesma situação pode ser verificada nas pós-graduações que, ou seguem o assim chamado “ensino tradicional” com o acréscimo do enfoque em pesquisa, ou fazem uso de seminários cujo sucesso enquanto ferramenta pedagógico-epistemológica carece de análise.

A multiplicidade de recursos pedagógicos, a preocupação com o diálogo questionador, a atenção com o uso da linguagem, o “ir e vir” dentro nas discussões e a dinâmica diferenciada dos docentes (a disciplina foi mediada por dois professores que interagiam entre si e com os alunos) foram indícios de que uma teoria de aprendizagem estava em ação.

Nos diálogos com os professores e pelo acompanhamento de seus planos de aula, percebemos que se orientaram pela teoria da aprendizagem significativa

ausubeliana, bem como do sentido *subversor* ou *significativo-crítico* apontado por MOREIRA (2005).

Fizeram uso de apresentações multimídia, simulações computacionais, planilhas eletrônicas, textos e vídeos para enriquecer as aulas dialogadas que, apesar da diversidade dos recursos metodológicos, não perderam o rigor conceitual inerente ao tema e necessário no contexto da formação de pesquisadores.

O grupo de alunos era formado por mestrandos e doutorandos (a disciplina tem caráter obrigatório na grade curricular de ambos) vindos das mais diversas graduações. Como o mestrado em Física e Meio ambiente é multidisciplinar, estavam presentes durante o curso: agrônomos, biólogos, químicos, arquitetos, bacharéis em ciências da computação e, é claro, físicos.

Uma característica peculiar a ser destacada, é o fato de que vários dos participantes tinham larga experiência no ensino superior e médio, em contraste com outros que ainda viriam a exercer a docência exigida (estágio docente). Entretanto, entre os recém-graduados, a característica comum era o histórico de pesquisa fomentado pela iniciação científica.

Apesar de semanais, as aulas mantinham um encadeamento lógico. Os docentes faziam questão de resgatar os conceitos abordados nos encontros anteriores antes de iniciar nova explanação/discussão, ações que explicitam o cuidado com a reconciliação integradora e a diferenciação progressiva desejáveis à uma aprendizagem significativa.

As quatro horas disponíveis para essas aulas permitiam minimizar um dos obstáculos comuns ao ensino de ciências: a limitação do tempo disponível para a interação professor-aluno-conteúdos didáticos. O gerenciamento consciente desse tempo também foi importante para a situação de aprendizagem: era possível negociar o momento “estratégico” em que os intervalos eram realizados, permitindo assim que discussões nas quais o interesse e participação eram elevados se estendessem e, em contrapartida, quando conteúdos mais complexos pareciam testar os limites da concentração dos participantes, havia a possibilidade de uma providencial pausa para aliviar possíveis tensões e então, na sequência, retomar o foco epistemológico.

Ao longo das sessenta horas previstas para a disciplina, foram estudados fundamentos da Teoria da Complexidade em tópicos como: Origem e evolução

histórica da Teoria da Complexidade, Sistemas abertos e seus fluxos, Equilíbrios e estados estacionários, Regimes dos fenômenos naturais e bifurcações, Instabilidade e transições de fase, Diagramas de fase e atratores, Dependência crítica às condições iniciais e caos determinístico, Acoplamento estrutural, Dimensionalidade fractal, Entropia e auto-organização.

Além dos registros das aulas, as avaliações aplicadas serviram de dados para a análise da captação e construção de significados por parte dos alunos. Essas avaliações compreendem uma prova “surpresa” na qual os discentes tinham que responder a algumas questões abertas sobre os temas estudados e mapas conceituais elaborados pelos mesmos durante a disciplina (ver seção 4.4).

3.5. COMPLEXIDADE – UM CURSO DE FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

O curso de TC proposto e implementado para os professores da escola de educação básica foi quase o mesmo ministrado na disciplina do mestrado. A diferença é que neste, trabalha-se com o formalismo matemático pertinente ao desenvolvimento de equações que regem o comportamento dos sistemas abertos fora do equilíbrio que são não lineares (equação mestre, equação logística). Utiliza-se também o recurso de planilhas eletrônicas que permitem plotar e analisar no espaço de fase, o comportamento de fenômenos que podem ser descritos por atratores. No curso ministrado aos professores abordam-se essencialmente os conceitos fundamentais da teoria. Nesta segunda experiência de ensino-aprendizagem, como se tratava de uma primeira incursão da TC fora do ensino superior, foi necessária uma seleção dos conteúdos apresentados na disciplina de pós-graduação. O critério adotado para a escolha dos tópicos que seriam abordados foi o caráter essencial de alguns conceitos da TC. Assim, considerando a TAS, buscou-se enfatizar os conceitos mais gerais e inclusivos e, a partir de então, estabelecer uma hierarquia conceitual. Uma vez escolhidos os tópicos e a sequência que seriam desenvolvidos, iniciou-se a busca por escolas que se interessassem pela proposta. Uma apresentação de slides foi preparada para apresentar o projeto (Anexos).

Logo no primeiro contato houve grande receptividade, permitindo desenvolver o curso em uma grande e tradicional escola particular desta capital. A

referida instituição possui uma clientela de mais de 5000 alunos, instalações adequadas para seminários, recursos multimídia e uma equipe de professores com larga experiência em ensino. Também é válido mencionar que a mesma é referência centenária em educação no estado.

Definiu-se com a direção da escola e com os professores que o curso seria realizado numa seqüência de cinco encontros de 4 horas, perfazendo um total de 20 horas. Esses encontros ocorreram aos sábados e no período noturno, logo após o encerramento das aulas vespertinas na escola.

Merece reconhecimento o grande esforço e dedicação desses professores que se disponibilizaram a participar dos encontros propostos após uma exaustiva jornada de trabalho. O cansaço, entretanto, se mostrou presente em alguns momentos e pode ter contribuído para as desistências que se notaram ao longo do curso.

Durante o curso, o grupo de professores participantes oscilou entre 22 a 29 pessoas com encargos didáticos nas disciplinas de Ciências, Física, Química, Biologia, Matemática, Geografia e Artes.

As discussões foram organizadas pelos mesmos docentes da disciplina ofertada na UFMT, conjuntamente com o pesquisador. Os mesmos recursos pedagógicos também estiveram disponíveis e foram utilizados: apresentações multimídia, simulações e vídeos.

Serviram como ferramentas avaliativas da proposta, e fonte de dados, as manifestações dos participantes, as observações e registros do pesquisador e dos docentes, entrevistas semi-estruturadas e mapas conceituais elaborados pelos professores-alunos. Foram realizados cinco encontros: nos dias 18, 22, 23, 30 e 31 de outubro de 2008 com duração de 4 horas/aula na sala de áudio-visual da escola, totalizando 20 h de curso.

Uma descrição pormenorizada dos encontros será feita a seguir.

3.5.1. O curso de extensão – primeiro encontro

O trabalho se iniciou com uma apresentação multimídia. Foram apresentadas duas questões motivadoras que viriam ganhar nova perspectiva sob a ótica da Teoria da Complexidade.

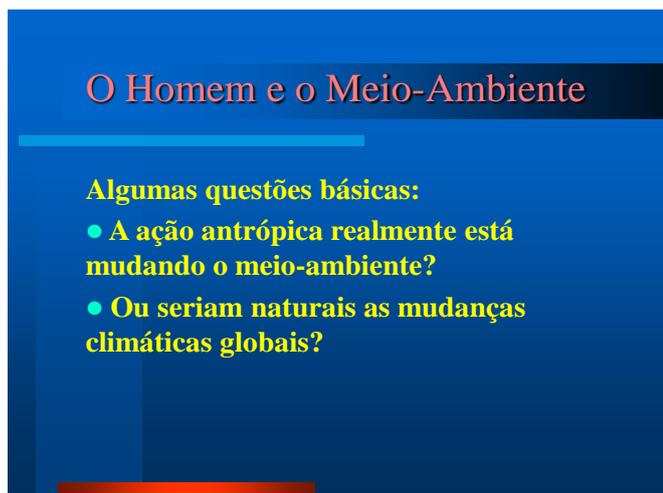


Figura 1 - O Homem e o Meio ambiente: questões iniciais

A intenção era, ao mesmo tempo, partir de uma problemática fundamental à pesquisa ambiental e questionar a análise clássica dos problemas apresentados. Quase que por instinto, nos vemos escolhendo entre uma opção ou outra. Como se a resposta final fosse simples. As duas situações seriam questionadas mais adiante.

Assim como ocorre com a Mecânica Quântica, há um grande obstáculo epistemológico a ser vencido para o entendimento dos fenômenos complexos: a cultura científica que se originou em torno do Determinismo Cartesiano. Não há forma sutil de transitar da “filosofia mecanicista” para a compreensão unificada dos fenômenos. Assumiu-se portanto, que a melhor saída seria contrastar as bases e implicações da mecânica determinística com as inovações da Teoria da Complexidade, numa revisão histórico-crítica de ambas. A figura seguinte sintetiza os princípios da filosofia cartesiana.



Figura 2 - Princípios da Filosofia Cartesiana

Os rumos definidos por Descartes para as Ciências tem origens bem mais antigas. A proposta baconiana para a Ciência deixava claro que nossas ações não podiam estar ligadas aos fenômenos naturais, aliás, a Natureza devia entregar todos os seus “segredos” sob “tortura”.

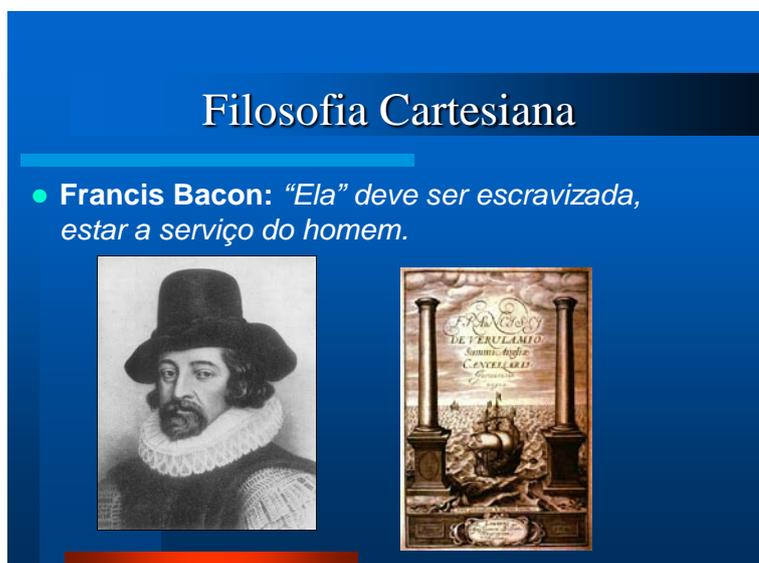


Figura 3 - A Natureza subordinada ao Homem

Quando Descartes propôs o seu método científico (verificação, análise, síntese e enumeração) talvez não tivesse imaginado que inspiraria praticamente todos os outros setores da sociedade: das artes à política, vemos a fragmentação (análise) por todos os lados.



Figura 4 - Consequências do pensamento cartesiano: a fragmentação

Ainda numa revisão histórico-crítica, buscou-se resgatar os movimentos anti-cartesianos. Essas manifestações atacavam fortemente a exaltação do racionalismo e a fragmentação generalizada das idéias. A literatura e as artes plásticas estão cheias de obras que procuram resgatar a importância dos sentimentos e do subjetivo, além de questionar conceitos fortemente ligados ao mecanicismo como simetria e previsibilidade.



Figura 5 - Movimentos anti-cartesianos na literatura



Figura 6 - Movimentos anti-cartesianos nas artes plásticas

Retornando para a Ciência e sua evolução, mais especificamente no período contemporâneo, ressaltou-se o surgimento da Mecânica Quântica, pioneira em estabelecer de forma radical conceitos que contrastam com os princípios da ciência cartesiana que se instaurara.

Movimentos Anti-Cartesianos: A MQ

- Ao observarmos o mundo microscópico, não há como não alterá-lo (sujeito-objeto)
- O mundo microscópico é intrinsecamente imprevisível – a incerteza é o tijolo fundamental do Universo
- A soma das partes é diferente do todo

The image features a portrait of Niels Bohr, a Danish physicist who made foundational contributions to understanding atomic structure and quantum theory. To the left of the portrait is a diagram of a Bohr model of an atom, showing a central nucleus with protons and neutrons, and electrons orbiting in discrete energy levels. The name 'BOHR' is written in large letters above the portrait.

Figura 7 - Movimentos anti-cartesianos nas ciências

Na seqüência foram rerepresentados conceitos que, citados inicialmente na MQ, seriam posteriormente expandidos naquela que viria a ser denominada Teoria da Complexidade. Também somos apresentados a um dos pais da Complexidade: Ilya Prigogine (1917 -2003).

A Teoria da Complexidade



- O Mundo Macroscópico também é quântico
- A incerteza e o não-determinismo impregnam todas as áreas do conhecimento
- Goedel (década de 50): A própria Matemática se torna incerta
- Equações não-lineares

Ilya Prigogine estabelece as bases da teoria
(Prêmio Nobel de 1977)

Figura 8 - Ilya Prigogine e a Teoria da Complexidade

Prigogine argumenta que há fenômenos à nossa volta, no mundo macroscópico, que possuem características quânticas, apresentando-se somente sob certas circunstâncias, e que a incerteza e o não-determinismo são componentes fundamentais da natureza. Pode-se citar, por exemplo, o problema da oscilação de uma corda com as duas extremidades fixas. De acordo com a Física Clássica, nesse caso, a corda somente poderá oscilar de modo a formar ondas estacionárias, ou seja, oscilações com um número inteiro de meios comprimentos de onda. Nesse caso, a energia de vibração da corda somente pode corresponder a um conjunto discreto de valores, da mesma maneira que na Mecânica Quântica (PAULO et al, 2002).

A matemática teve de rever algumas de suas “verdades” nas últimas décadas, além de se ver obrigada a elaborar novas abordagens para lidar com as situações complexas que passaram a ser exploradas sob novo foco nas pesquisas recentes. Essas mesmas situações, quando descritas matematicamente, exigem o uso de equações não-lineares, costumeiramente evitadas em virtude de suas múltiplas soluções. Também da matemática surge uma nova geometria baseada na recursividade de padrões: os fractais.



Figura 9 - Fractais: a Matemática descobrindo novos aspectos da Natureza

3.5.2. O curso de extensão – segundo encontro

Este segundo encontro iniciou-se com um diálogo sobre o que havia sido discutido no encontro anterior. Os participantes apresentaram suas impressões sobre o que tinham visto e se mostraram receptivos à proposta.

Passou-se então uma explanação sobre os três regimes da Natureza: o determinístico (regido por relações lineares de causa e efeito), o quântico (onde percebemos as primeiras bifurcações) e o caótico (no qual impera a aleatoriedade). Discutiu-se sobre fenômenos em que as bifurcações são evidentes como: ritmos cardíacos e dinâmicas de populações. Foi feita uma pequena análise sobre a equação que aparece na parte inferior do slide (a equação logística), identificando-se em seus termos a dependência às condições iniciais, seu caráter evolutivo e o novo fator λ (parâmetro de controle) – que não é uma constante e nem tanto uma variável. Os próximos exemplos seriam importantes para entendê-lo melhor.

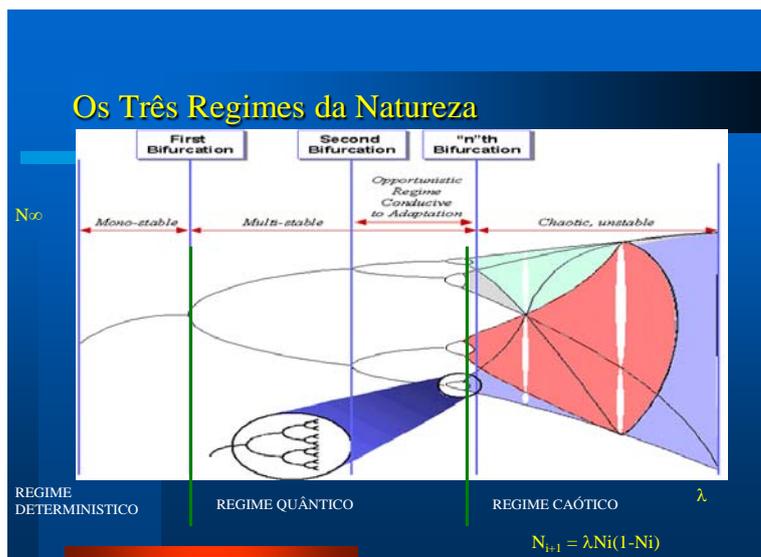


Figura 10 - Os três regimes de comportamento na Natureza e a equação logística

Os slides seguintes visam reconhecer os elementos comuns em expressões algébricas como constantes e variáveis. A intenção era a de incorporar esse novo elemento – o parâmetro de controle.

- **Constante** – invariável, valor fixo.
- **Variável**
- **Parâmetro de controle** – categoria intermediária entre constantes e variáveis

Figura 11 - Parâmetro de controle: novo elemento a ser observado

O reconhecimento de parâmetros de controle em fenômenos complexos nos permite entender como certas situações podem ser drasticamente alteradas quando elementos específicos do sistema se modificam. Além de ilustrar a importância desse

conceito, os slides seguintes evidenciam a existência de três regimes de organização na natureza.



Figura 12 – As imagens de Marte (à esquerda), da Terra (ao centro) e de Vênus (à direita), ilustram como a densidade de energia solar é parâmetro de controle para o comportamento atmosférico.

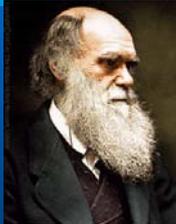
A comparação entre as atmosferas de Vênus, Marte e da própria Terra serviu para refinar e diferenciar os conceitos de equilíbrio e estado estacionário (erroneamente encarados como sinônimos). A densidade de energia solar teve papel fundamental na presente situação das massas gasosas que recobrem estes três planetas. É relativamente fácil perceber nas imagens que a atmosfera marciana com seu aspecto inerte corresponde ao sistema determinístico citado antes, assim como a violenta dinâmica dos ventos em Vênus é a própria face do caos.

A afirmação de um dos docentes que disse que a vida só prospera dentro dos limites de um regime quântico tornou-se evidente ao observarmos a dinâmica de nossa própria atmosfera com a alternância de seus ventos.

Este slide é, afinal, uma tentativa de aplicar o conceito recém descoberto de parâmetro de controle - λ , a um contexto em que os participantes pudessem compreender sua relevância.

Outra característica dos fenômenos complexos seria explorada a seguir: o acoplamento estrutural.

Teorias de Evolução



Darwin

- Adaptacionismo
- Competição



Lynn Margulis

- Acoplamento Estrutural
- Simbiose

Teoria da Endossimbiose Sequencial (SET)

Figura 13 - Teorias de evolução: seleção natural x endossimbiose

Ao mostrar como a teoria evolucionista de Darwin, baseada na competição e adaptação, passa a incorporar fenômenos como a endossimbiose, que ressalta a cooperação, dá-se início à abordagem de uma das mais interessantes características dos sistemas complexos, o acoplamento estrutural: as influências mútuas entre elementos de um mesmo sistema. Nos slides seguintes aprofunda-se essa discussão.

Acoplamento Estrutural



Figura 14 - Formação dos recifes e lagoas costeiras: auto-regulação da salinidade nos oceanos

A formação das lagoas costeiras é outra situação em que encontramos uma intrincada rede de relações entre organismos e meio ambiente. Essas mesmas lagoas têm um papel de destaque na regulação da salinidade dos oceanos. As explicações

puramente químicas ou geofísicas não se mostram suficientes para abranger esses fenômenos.

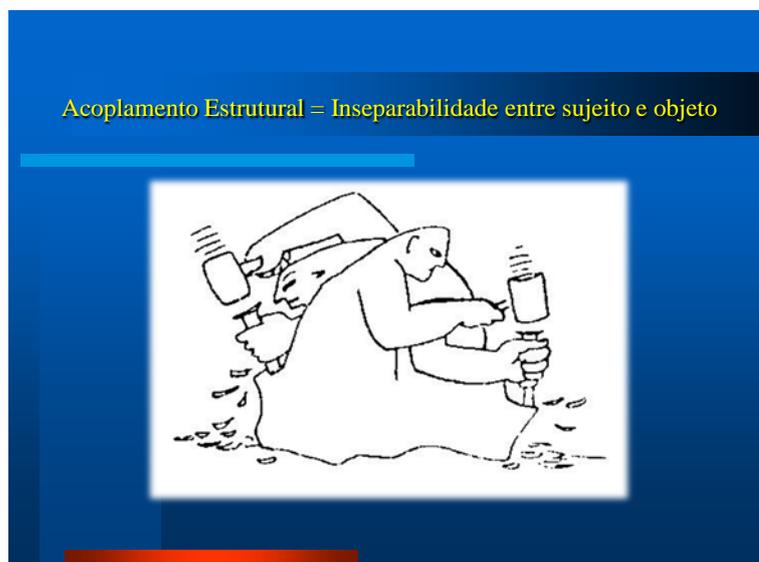


Figura 15 - Acoplamento estrutural

O apanhado que havia sido feito no início do curso sobre o mecanicismo que se instaurou na história das ciências começa a se justificar. Além das limitações óbvias da análise cartesiana, a separação imposta anteriormente entre sujeito e objeto do conhecimento não ajuda e até mesmo atrapalha a interpretação dos fenômenos complexos, como aqueles em que se percebem as múltiplas relações entre os organismos vivos e o meio ambiente.

3.5.3. O curso de extensão – terceiro encontro

Nesta ocasião foram mostradas novas situações em que há destaque para a característica discutida no último encontro: o acoplamento estrutural.

Passou-se à explicação das glaciações e de como esses períodos com intensas variações no volume de gelo são comuns na história do planeta. São citados indícios geológicos de pelo menos oito eras glaciais numa escala de um milhão de anos, como é mostrado na figura 16.

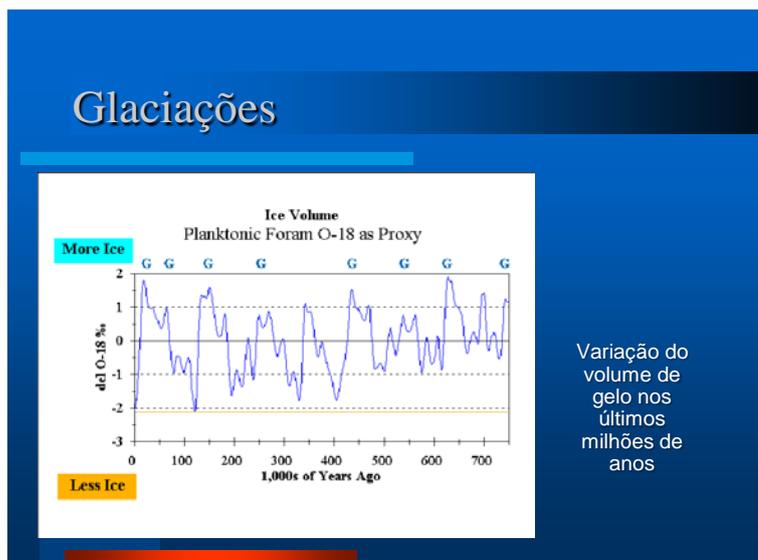


Figura 16 - Períodos glaciais ao longo do tempo

O próximo slide é uma tentativa de reconstruir artisticamente um desses períodos glaciais e a drástica modificação da superfície planetária. Foi pedido que os participantes que atentassem para as alterações mais visíveis na imagem. Não é difícil notar o contraste de cores e o significativo aumento da “capa branca” de gelo nos continentes.

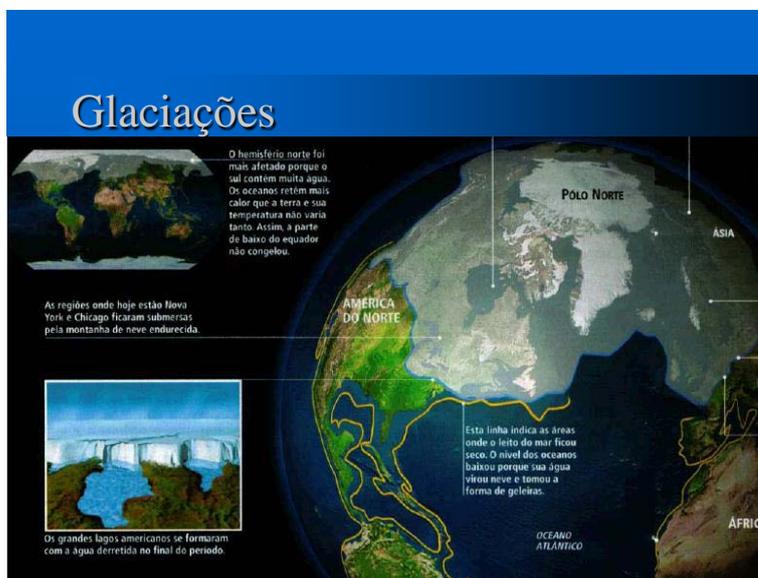


Figura 17 - Glaciações e as mudanças na superfície do planeta

As diferentes cores encontradas na superfície do planeta têm grande relevância na maneira com que as radiações solares são absorvidas e reemitidas pela Terra. Isso faz parte de um mecanismo de auto-regulação.

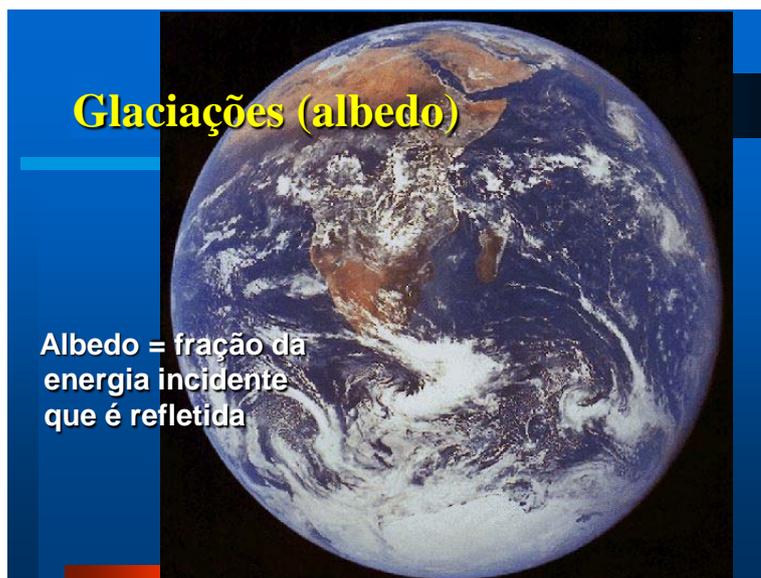


Figura 18 - Albedo e retroalimentações na dinâmica das glaciações

Reconhecendo o clima em nosso planeta como um fenômeno complexo, assumimos que deve existir uma rede de mecanismos que o regulem. Um destes é o efeito estufa.

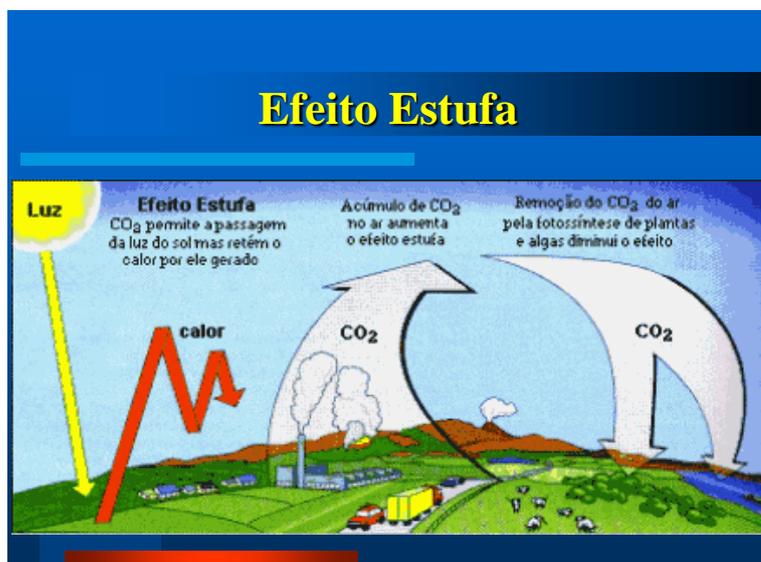


Figura 19 - Efeito estufa, ciclo do CO₂ e os seres vivos

A energia radiante que recebemos do Sol sofre uma mudança qualitativa ao adentrar nosso planeta. Todo corpo que se aquece também passa a emitir calor sob a forma de radiação infravermelha. Não fosse pelo efeito estufa, que ocorre naturalmente em nossa atmosfera, o planeta não poderia manter a temperatura propícia para a manutenção da vida.

O slide anterior tenta mostrar como nós e os demais seres vivos estamos conectados ao processo dinâmico do efeito estufa.



Figura 20 - A concentração de CO₂ na atmosfera e as variações globais da temperatura

Nossa participação nesse processo, entretanto, tem sido negligenciada por muito tempo, em virtude, talvez, de nossa concepção cartesiana da natureza. Desde antes do sucesso do método científico, já tínhamos a dificuldade de nos vermos conectados ao meio ambiente. Esse distanciamento entre o homem e a natureza não parece ter sido a postura mais acertada. Há indícios de que a ação antrópica tenha influenciado significativamente a temperatura e o clima em escala global.

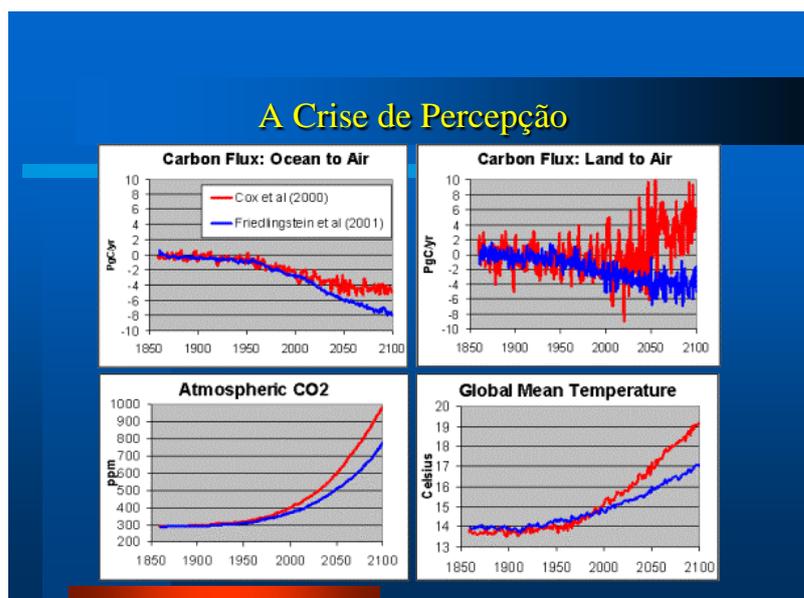


Figura 21 - A crise de percepção: modificações climáticas e o aumento do CO₂ na atmosfera

3.5.4. O curso de extensão – quarto encontro

No penúltimo encontro, novos exemplos de fenômenos complexos foram explorados. Uma situação bem conhecida dos professores de ciências da natureza, a convecção, pode apresentar um complexo padrão de organização quando a diferença de temperatura entre as partes superior e inferior do fluido atinge valores críticos, é o fenômeno conhecido como Células de Bénard.

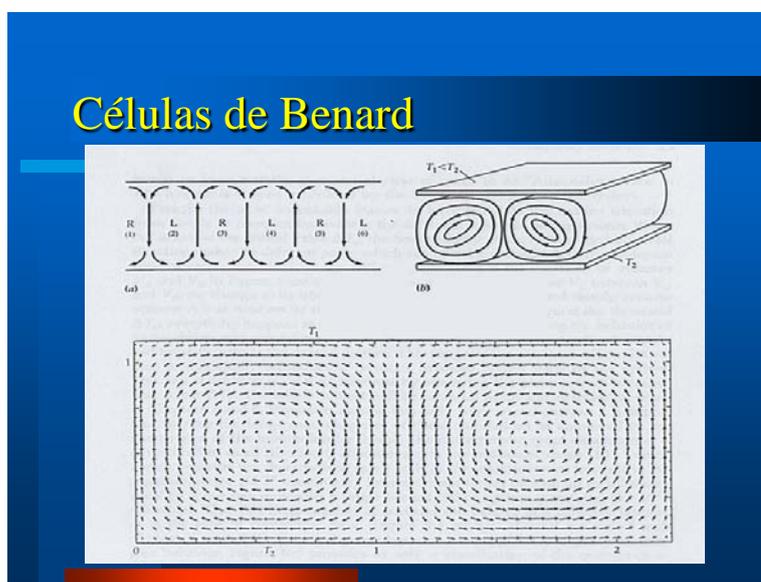


Figura 22 - Células de Bénard: um fenômeno termodinâmico complexo

É interessante notar que as correntes convectivas nas células vizinhas ocorrem em sentidos opostos denotando um alto grau de ordem interna e de regularidade espacial.

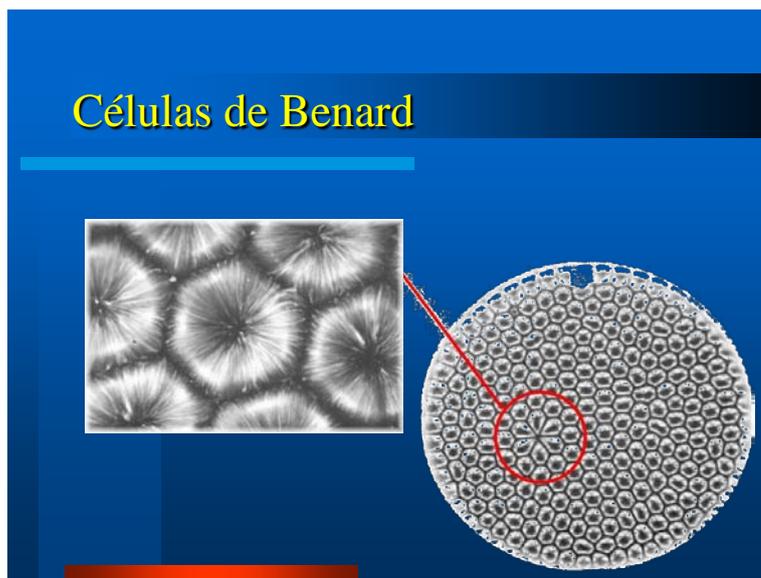


Figura 23 - Células de Bénard: correlações espaciais e a ordem fora do equilíbrio

A compreensão inicial das correntes de convecção e fluxos de calor que ocorrem fora do equilíbrio se justifica para o entendimento de outros fenômenos complexos, que ocorrem até mesmo na atmosfera.



Figura 24 - Fenômenos complexos na atmosfera

Aproveitando a discussão sobre as instabilidades, deslocou-se novamente o foco para os indícios de modificação climática e as suas possíveis conseqüências para o meio ambiente.

O continente antártico tem fornecido inúmeras pistas sobre a evolução climática como, por exemplo, nos estudos da composição atmosférica pelo aprisionamento de bolhas gasosas no gelo profundo mas, nas últimas décadas, os sinais das mudanças climáticas globais se tornaram bem evidentes com o degelo de quantidades consideráveis desse continente.



Figura 25 - Degelo na Antártida: um indicador de mudanças climáticas



Figura 26 – Antártida: 13,7 milhões de km² cobertos por gelo

Em virtude de seu tamanho, as aceleradas transformações que vêm ocorrendo nesse continente gelado têm atraído a atenção da mídia e dos pesquisadores, mas há pouco esclarecimento científico para a grande população.

Na verdade, certos setores da sociedade acolheram, adaptaram e passaram a empregar os conceitos da TC antes mesmo que ela chegasse aos livros didáticos da Educação Básica ou nas graduações do Ensino Superior. Esse é caso da economia, uma ciência às voltas com um sistema presumivelmente complexo.



Figura 27 - A Economia: um sistema complexo

3.5.5. O curso de extensão – quinto encontro

No início do derradeiro encontro, foi apresentado um contraste entre algumas das características que se observam nas ciências da complexidade e o paradigma cartesiano. A intenção era a de permitir a reflexão sobre os pilares clássicos da pesquisa e ensino nas ciências e os novos aspectos a serem incorporados.

A Mudança de Paradigma	
Ciência da Complexidade	Ciência Cartesiana
<ul style="list-style-type: none"> • Acoplamento estrutural • Totalidade • Fim das certezas • Visão sistêmica • Relação simbiótica com a Natureza • Vida 	<ul style="list-style-type: none"> • Causalidade • Fragmentação • Determinismo • Visão especialista • Natureza a serviço do homem • Equilíbrio

Figura 28 - Paradigma Complexo x Cartesiano

Como o curso se iniciou sob o enfoque de dois questionamentos motivadores (a influência ou não da ação antrópica sobre as mudanças climáticas globais), e estes têm sido amplamente debatidos pela mídia, optou-se pelo uso de um documentário que trás em seus argumentos alguns conceitos da teoria da complexidade.

O filme foi distribuído em nosso país com o título “Uma verdade inconveniente” (An inconvenient truth), e ganhou certa notoriedade por ter sido produzido pelo ex-vice-presidente norte-americano Al Gore. Posteriormente foi premiado pela Academia de Artes e Ciências Cinematográficas dos EUA, em 2007.



Figura 29 - Documentário: uma verdade inconveniente



Figura 30 - Al Gore em uma de suas apresentações

Por fim, foi realizada, a título de revisão, uma rápida abordagem sobre a elaboração de mapas conceituais (MC) e foi solicitado aos professores que os elaborassem relacionando os conceitos da Teoria da Complexidade trabalhados ao longo do curso.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. OS INSCRITOS NO CURSO DE EXTENSÃO E A EVASÃO

De acordo com os objetivos inicialmente propostos, o curso de extensão seria oferecido a professores da área de Ciências da Natureza e Matemática do ensino fundamental e médio. Entretanto, na etapa em que se negociou a realização do evento junto à direção da escola de educação básica, percebeu-se que professores de outras componentes curriculares também apresentavam afinidades com a educação científico-ambiental. Dessa forma, o convite ao curso foi estendido às disciplinas de geografia e artes.

Uma turma de 29 professores foi formada para a discussão da Teoria da Complexidade com Abordagem em Mudanças Climáticas Globais e a possibilidade de inserção da mesma em suas disciplinas. Houve entretanto, uma evasão de cerca de 24%. O gráfico a seguir detalha a diversidade das disciplinas dos inscritos e o número de professores que concluíram o curso.

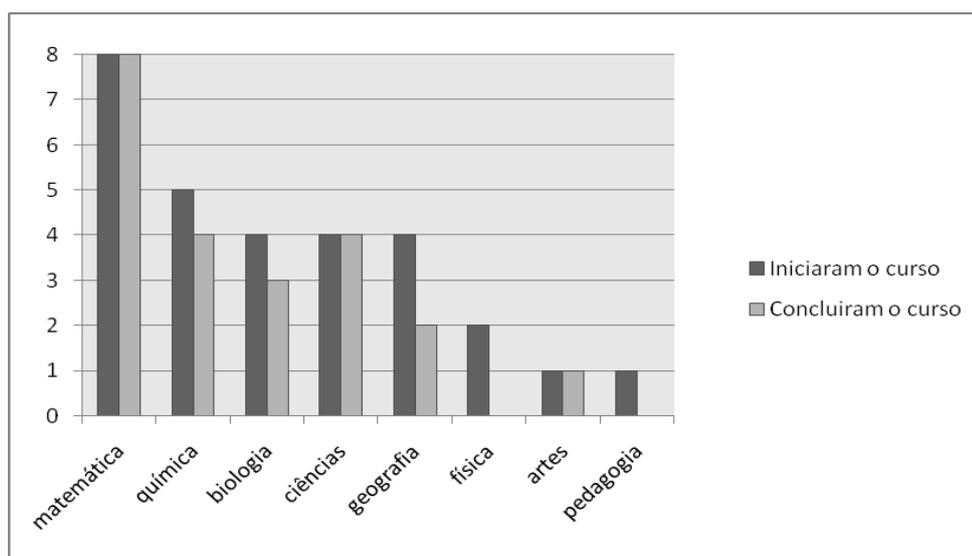


Figura 31 - Participantes do curso de extensão e a evasão

A presença de uma profissional da pedagogia se refere a uma orientadora pedagógica mostrou interesse em acompanhar os encontros, mas não chegou a concluir o curso.

Os professores de matemática se mostraram mais abertos à proposta. O número destes era duas vezes maior que o dos professores de Ciências, que também mantiveram e a frequência inicial ao longo do curso.

Das desistências, a mais significativa para a pesquisa foi a dos professores de física, cuja participação já era reduzida desde o início. Há a suspeita de que o excesso de encargos em outras instituições possa ter dificultado a presença e participação desses professores nos horários em que o curso se realizou, fora da grade horária normal em que atuam.

Dificuldade em conciliar horários, cansaço inerente à jornada de trabalho diária e resistência em aceitar a proposta podem ter motivado a evasão dos professores. A interação com os participantes forneceu indícios visíveis de que as duas primeiras hipóteses procedem, mas não há dados que permitam aceitar ou descartar a última.

4.2. MAPAS CONCEITUAIS DO CURSO DE EXTENSÃO

No último encontro os participantes se organizaram em grupos e lhes foi solicitado que elaborassem mapas conceituais que permitissem exteriorizar os conceitos mais relevantes construídos ao longo do curso. Estes mapas são mostrados a seguir.

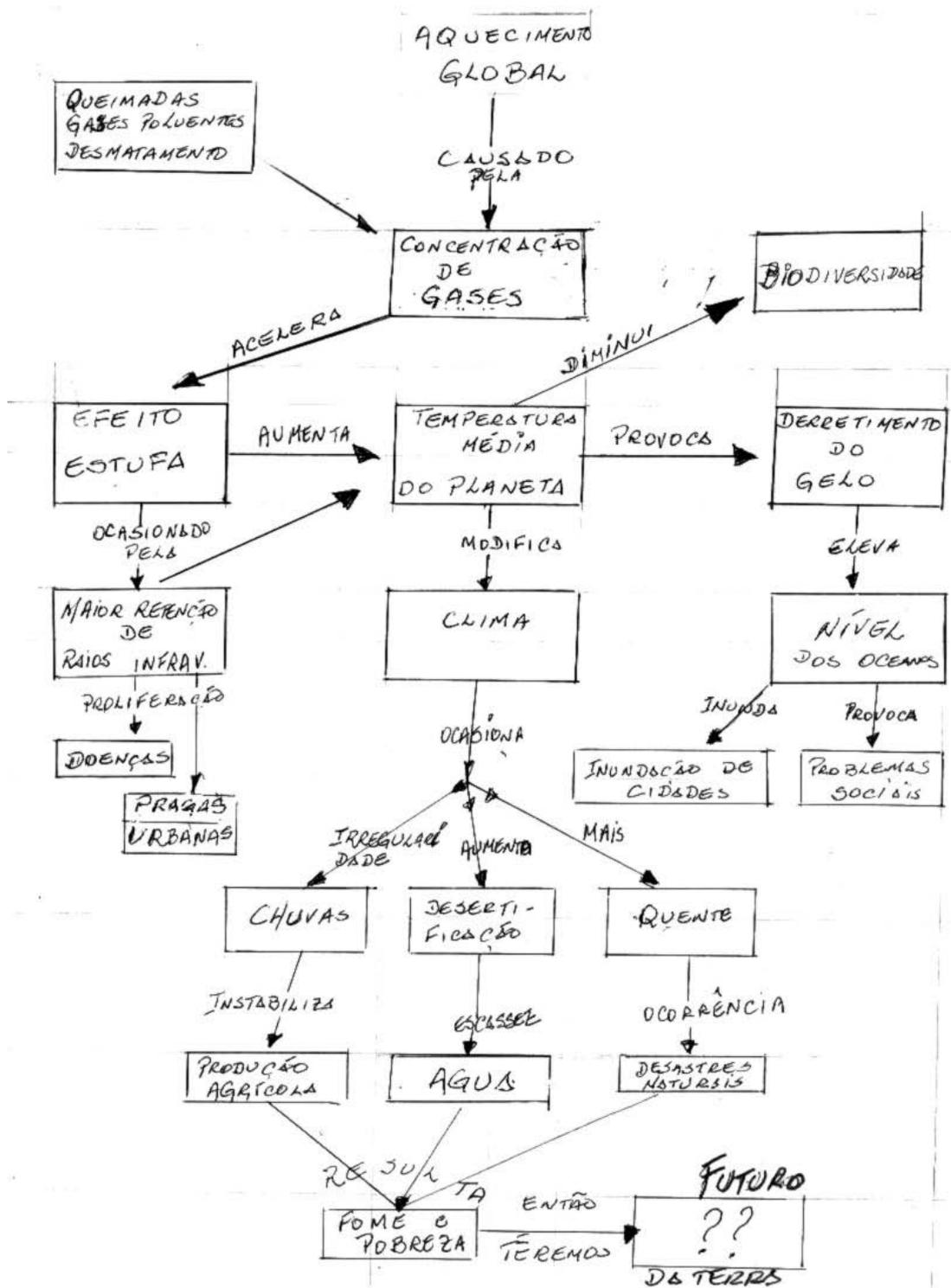


Figura 32 - Mapa conceitual elaborado pelo 1º grupo de professores

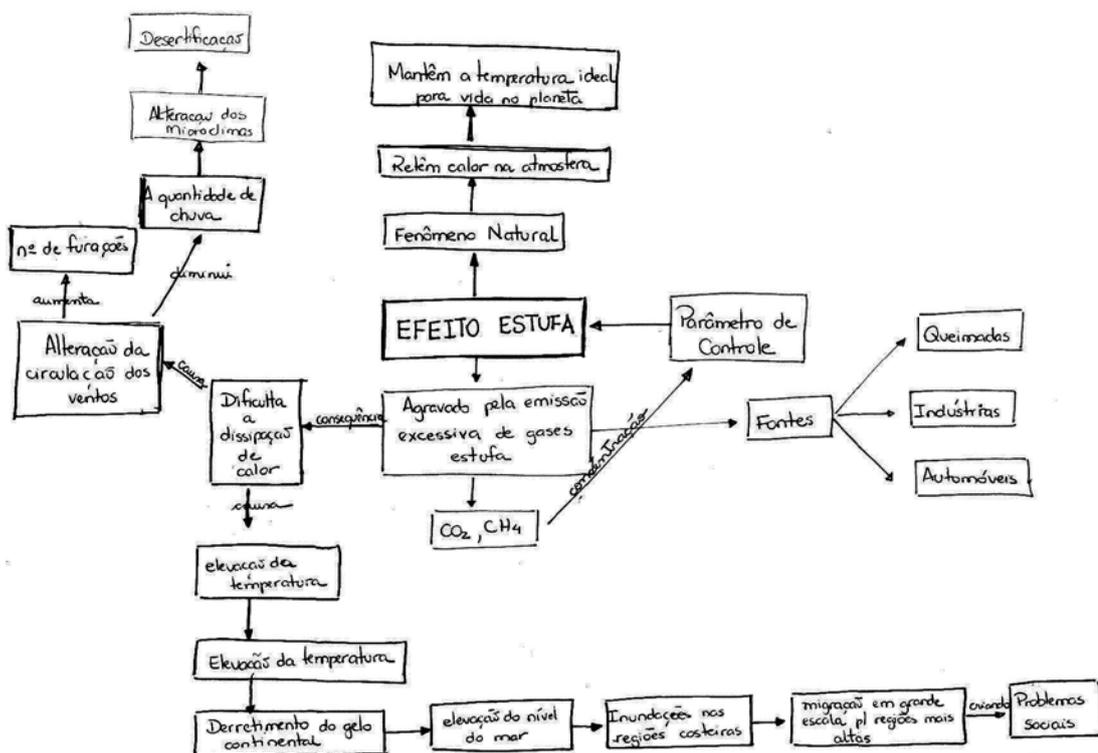


Figura 33 - Mapa conceitual elaborado pelo 2º grupo de professores

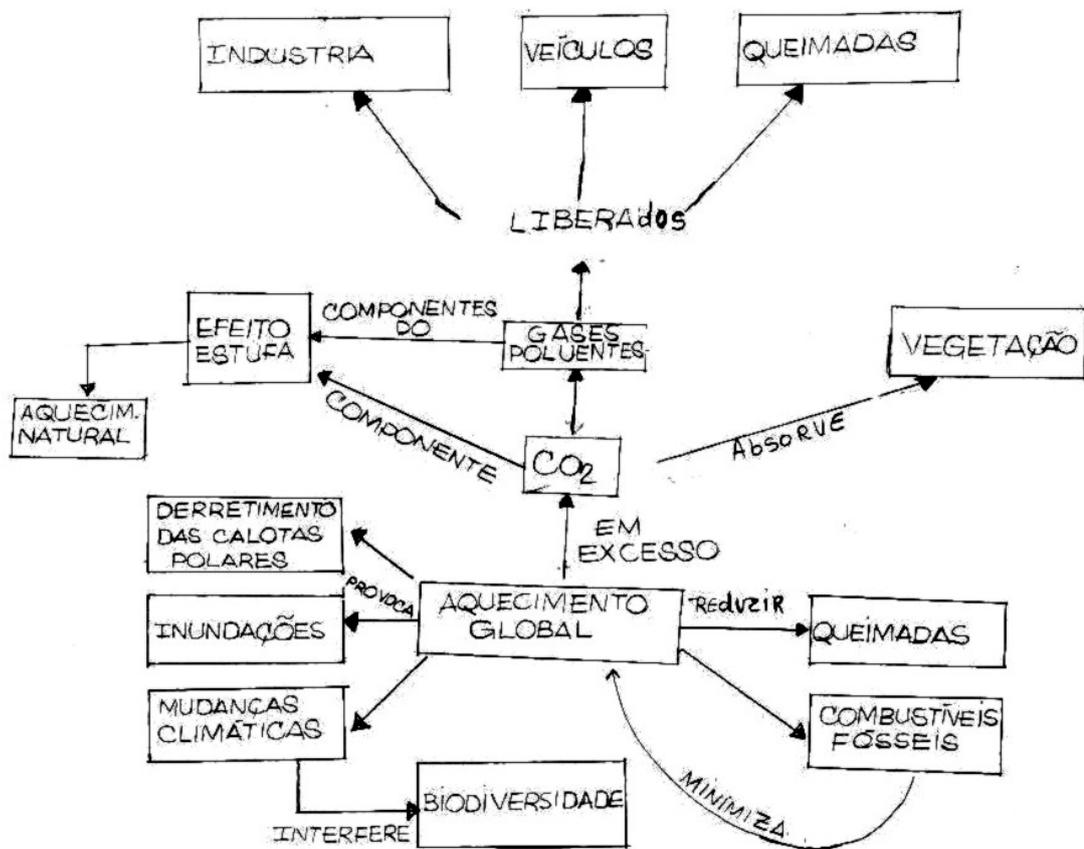


Figura 34 - Mapa conceitual elaborado pelo 3º grupo de professores

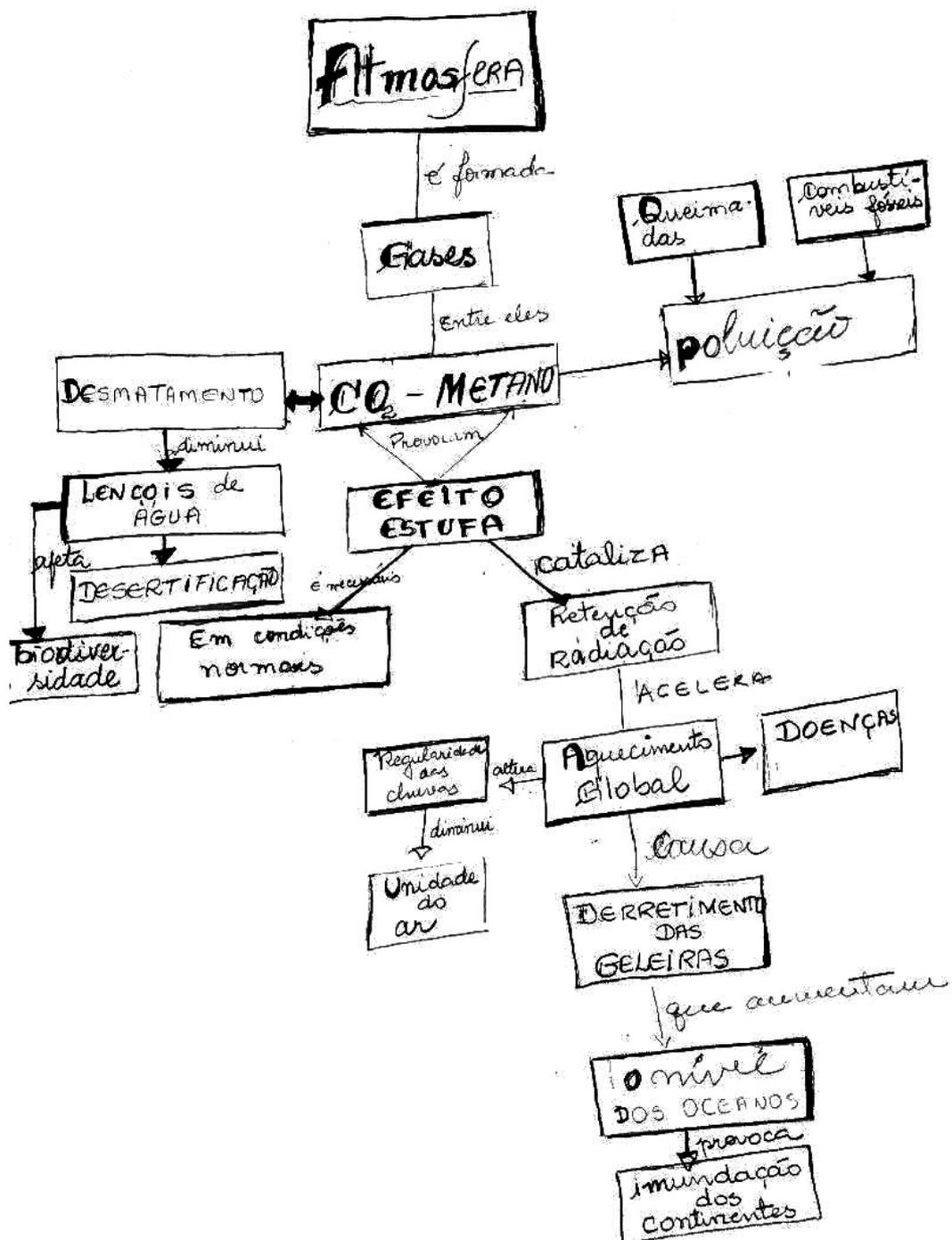


Figura 35 - Mapa conceitual elaborado pelo 4º grupo de professores

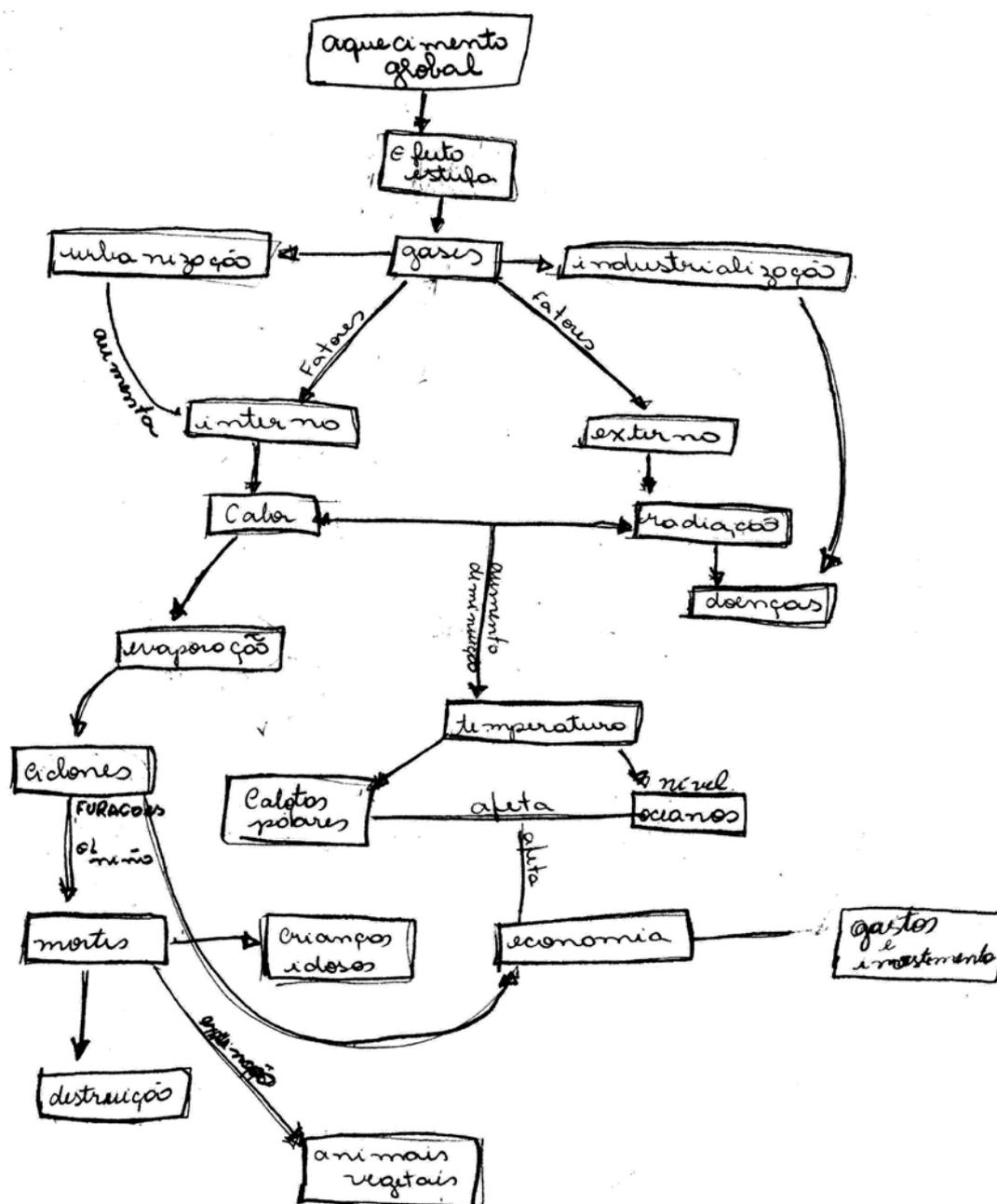


Figura 36 - Mapa conceitual elaborado pelo 5º grupo de professores

Os mapas conceituais elaborados pelos participantes apresentaram, ao invés de conceitos da Teoria da Complexidade como solicitado, fenômenos relacionados às mudanças climáticas globais. As relações expostas entre os fenômenos são pertinentes, mas esperava-se, até mesmo pela experiência docente dos participantes, uma melhor captação de significados da TC que dos discentes do mestrado da PGFA.

Há ainda a possibilidade de que o filme apresentado no penúltimo encontro tenha favorecido a ancoragem desses fenômenos junto aos subsunçores dos professores sobre as mudanças climáticas globais. Dessa forma, os conceitos

específicos de complexidade, por seu caráter inovador, podem ter sido menos enfocados pelos participantes do que os fenômenos mostrados no documentário, uma vez que estes já possuíam certa estabilidade em suas estruturas cognitivas (garantida até, pela sua larga experiência docente). Isso nos leva a conjecturar que a própria experiência na docência tenha inibido a expressividade dos novos conceitos da TC e que pelo curto tempo de interação, ainda não atingiram uma boa estabilidade na estrutura cognitiva, diferentemente dos fenômenos abordados no documentário, com os quais os mesmos já possuíam certa familiaridade. Como pode ser atestada pelas respostas dos professores a entrevista semi-estruturada, que será transcrita adiante.

Durante a confecção e apresentação dos mapas, um detalhe que chamou a atenção, foi a dificuldade na construção dos mesmos, contrariando a premissa de que as experiências anteriores promovidas pelo estabelecimento de ensino tivessem sido significativas e suficientes nesse sentido. Isso ficou claro na fala da professora M.S., de matemática: “Eu achava que sabia fazer mapas conceituais, mas agora eu acho que aprendi mesmo!” A professora alegou inclusive que já os havia utilizado como instrumento de avaliação. Apesar do grupo de professores, em sua maioria, já possuírem um histórico de formação na elaboração e aplicação de mapas conceituais em sala de aula, as dúvidas e dificuldades destes tornaram fortuita a decisão dos ministrantes de rerepresentar os passos de elaboração de mapas conceituais segundo Novak.

4.3. ENTREVISTAS COM PARTICIPANTES DO CURSO DE EXTENSÃO

Como instrumentos auxiliares à obtenção de dados, foram feitas entrevistas semi-estruturadas com alguns participantes do curso de extensão. Para a escolha dos entrevistados tentou-se respeitar a diversidade de séries dos níveis fundamental e médio vislumbrados no curso, conforme o esquema a seguir.

Quadro 1 - Séries (anos) em que atuam os professores participantes

	Nível Fundamental					Nível Médio		
Anos	5°	6°	7°	8°	9°	1°	2°	3°

As entrevistas foram realizadas cerca de um mês após a realização do curso. Áudio e vídeo foram gravados e as transcrições tentaram manter ao máximo a integridade das respostas colhidas.

Além das cinco entrevistas, dois outros participantes optaram, por motivos pessoais, em responder às perguntas via correio eletrônico.

As perguntas formuladas aos participantes visaram expor suas impressões pessoais sobre o curso e o nível de aproveitamento que tiveram. Além de verificar novamente a possível captação de significados sobre a teoria apresentada, obtiveram-se alguns indicadores sobre a viabilidade da inserção de conceitos de complexidade e até mesmo da incorporação de hábitos e metodologias com reflexo à TASC.

A seguir, as transcrições das respostas à cada uma das perguntas:

Pergunta 1: Qual a sua disciplina? Há quanto tempo está a frente desta componente curricular?

Quadro 2 - Componentes curriculares e experiência docente dos professores entrevistados

Entrevistado	Resposta		Ano/Nível **
L.M.S.	Geografia e História.	12 anos.	5º / Fundamental
F.T.G.M.	Biologia.	07 anos	1º e 2º / Médio
M.V.A.	Química.	23 anos.	3º / Médio
J.C.S.	Matemática* e Geografia.	Matemática: uns 20 anos. Geografia uns 25 anos.	6º / Fundamental
P.A.N.	Geografia.	26 anos.	6º e 7º / Fundamental
S.C.P.	Química.	17 anos	1º e 2º / Médio
M.S.	Matemática.	26 anos.	8º e 9º / Fundamental

* Componente curricular que o entrevistado atualmente leciona nesta instituição.

** Informações cedidas pela secretaria da escola.

Pergunta 2: O que você achou do curso?**Quadro 3** - Avaliação do curso pelos professores participantes

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	<p>Eu achei o curso muito bom, muito válido. Quando falaram do curso pra gente, ficou parecendo que era mais pro pessoal do 2º grau, parecia que o pessoal tinha que ter um QI mais elevado pra isso: “ah, convidaram vocês... mas é pro pessoal de química, física...”. Que não servia pra gente estar passando para os nossos aluninhos pequenos. Eu achei que serviu sim. Sabe, tem muitas coisas... aliás, MUITAS coisas mesmo, que a gente não aprende na faculdade. Por exemplo, eu fiz geografia, que tem tudo a ver com mudanças climáticas, e muitas coisas que eu não aprendi na faculdade eu fui aprender depois, quando aquilo me fez falta, quando eu precisei aplicar em sala de aula ou quando EU senti falta, pra que eu pudesse ter conhecimento do mundo.</p>
F.T.G.M.	<p>Achei bastante produtivo, a nível até de mudanças, pra mim, de metodologias, de conceitos, de informações de outras áreas que interagiram comigo. Olha, no começo eu achei que não seria muito voltado para a minha área, porque lembra aquela discussão: “professores de física dando um curso...”, eu achei que seria mais voltado para a área de física... Mas eu aproveitei muito as informações, as discussões.</p>
M.V.A.	<p>Foi muito bem orientado (o curso). Foi estimulante. É, nos proporcionou a possibilidade de ver a Ciência como um todo, não a Física, mas a Ciência... e o aluno também, como um conhecedor da Ciência, não importa se é Física, Química ou Biologia.</p>
J.C.S.	<p>Acho que foi um ponto de partida até para a mudança na postura do nosso planejamento. Foi muito importante, principalmente pessoas que estão trabalhando na 5ª, 6ª séries. Inicialmente a idéia, como não conhecíamos muito a fundo do que se tratava, não foi dada muita</p>

	importância, mas depois, você pode ver pela minha própria participação, o tema foi me envolvendo, fui vendo a praticidade e a utilidade da questão pro momento.
P.A.N.	Foi muito bom. Bem atualizado. Aprendi muitas coisas que não sabia. Inclusive, houve partes em que, pra mim, que trabalho geografia e a questão ambiental, há coisas das quais não sabíamos a importância. Às vezes trabalhávamos porque vem nos livros, é o assunto do momento – todos os meios de comunicação que se acessa “tem”, mas não sabíamos da importância de estar trabalhando... Como somos um meio de divulgação para essa população jovem. Foi no curso que comecei a entender o quanto é importante trabalhar a questão da preservação do meio ambiente e as conseqüências futuras e que a gente está vivendo sob essa problemática que, no passado, até por falta de conhecimento, não foi trabalhada dessa forma.
S.C.P.	Foi muito bom. Muito amplo, muito claro. Não foi tão cansativo porque foi bem dinâmico (...). Os monitores/professores foram muito claros em sua fala. Eu gostei muito. Gostaria que tivesse mais.
M.S.	Bastante esclarecedor, didático e estimulante, despertando nos participantes vontade de querer mais.

Pergunta 3: A título de sugestão, o que é que você gostaria que tivesse sido diferente?

Quadro 4 - O que poderia ter sido diferente no curso, segundo os professores

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	Poderia ser mais sucinto... mas, numa semana pedagógica, pra todo mundo. Acho interessante também que fosse levado esse curso pras escolas públicas
F.T.G.M.	Eu acho que poderia ser trabalhado numa semana pedagógica.
M.V.A.	Nós poderíamos ter, na escola (um curso) para todas as áreas, porque meio ambiente não é uma questão de área da ciência, meio ambiente

	tem que ser uma preocupação do cidadão e nós, como educadores, temos que estar à frente.
J.C.S.	Acho que o curso deveria ter (sido oferecido) para mais pessoas, porque haveria um envolvimento maior, um interesse maior.
P.A.N.	É meio difícil dizer, porque tudo pra mim foi novo, motivante.
S.C.P.	Achei perfeito, levando em conta a carga horária, mas se fosse possível poderíamos dar continuidade.
M.S.	Considerando que o tema do Curso é de extrema importância para a sociedade em geral, poderia ser um curso com maior duração, envolver todas as áreas do conhecimento, bem como envolver também educadores das escolas públicas estaduais, através de cursos proporcionados pelo CEFAPRO (Centro de Formação de Professores).

Pergunta 4: Já teve contato com a Teoria da Complexidade antes do curso?

Quadro 5 - Respostas dos professores sobre contatos prévios com a TC

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	Não. A primeira vez foi no curso.
F.T.G.M.	Foi a primeira vez
M.V.A.	Para mim também. E por sinal uma primeira vez excelente.
J.C.S.	Não. Já tinha ouvido falar, mas nunca tive curiosidade (em me aprofundar): achei que era muito complexo!
P.A.N.	Não. Pra mim foi tudo novo. Por isso que eu amei!
S.C.P.	Apenas superficialmente.
M.S.	Não, apenas alguns conceitos.

Pergunta 5: Na sua disciplina, você tem trabalhado alguma coisa relacionada com as mudanças climáticas globais?

Quadro 6 - As mudanças climáticas globais nas disciplinas dos participantes

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	Olha, eu tenho trabalhado sim, não aqui. Aqui, muito pouco, porque, como é 4ª série, não entramos muito nessas características. Na outra escola, a pública, onde dou aulas de 5ª a 8ª, tem (conteúdos?) específicos sobre as mudanças climáticas, o “por que está acontecendo?”
F.T.G.M.	Na minha sim.
M.V.A.	Sim.
J.C.S.	Claro. Tranquilo.
P.A.N.	Sim. Só que não tínhamos esse conhecimento de como nos aprofundar, (...) A nossa formação... E falta, até, de atualização... Vou te falar da minha parte... Fomos preparados assim: questão ambiental? Ciências. O que não tem nada a ver! Toda e qualquer disciplina pode trabalhar e faz parte da sua disciplina.
S.C.P.	Sim.
M.S.	Sim, juntamente com as disciplinas de Geografia, História, Ciências e Língua Portuguesa.

Pergunta 6: Que tipo de fenômenos ligados às mudanças climáticas você tem abordado?

Quadro 7 - Os fenômenos ligados às mudanças climáticas globais nas disciplinas dos participantes

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	Efeito estufa. As queimadas. As causas do efeito estufa. O desmatamento. A urbanização. O crescimento das grandes cidades
F.T.G.M.	Entramos bastante nisso: efeito estufa, chuvas ácidas... Tudo aquilo que a gente comentou eu achei bastante interessante porque dá para

	trabalhar junto. Isso é o que seria interessante.
M.V.A.	Eu dou esse enfoque de química do meio ambiente, mesmo porque, na verdade, meu mestrado era na área de gestão econômica do meio ambiente. Então, de certa forma, algumas teorias eu já trabalhei.
J.C.S.	Na 8ª série, por exemplo, você tem problemas ambientais urbanos onde se trabalha a questão das ilhas de calor, do lixo... toda a questão urbana. No 1º ano, volta-se mais para a economia, globalização... Apesar de que pode-se relacionar a globalização com o aquecimento global, tudo isso. Na 8ª série tem bastante campo pra se trabalhar os problemas ambientais. Na matemática fica mais difícil inserir esses conteúdos, mas trabalha-se com problemas como o desperdício de água, o consumo, o valor, o transporte... questões ligadas ao custo e o desperdício da água.
P.A.N.	a questão das estações, na 5ª série: pesquisamos (os alunos) com os avós que tinham... principalmente quando a atividade econômica era mais rural... havia a época de plantar, a época certa das estações. Agora... quais (como) são essas as conseqüências? . A interferência do ser humano na mudança dessas questões climáticas. Na 6ª série também. Quando falamos sobre, por exemplo: “a grande exploração dos recursos naturais”... desordenada, sem planejamento, sem pensar nas conseqüências futuras. O que causam?
S.C.P.	Desde os fenômenos naturais, como os provocados por nós, como desmatamento, poluição e outros
M.S.	Trabalhamos o seguinte tema: “A água escoar pelo ralo”, com aulas interdisciplinares onde: Ciências fez estudos dos componentes da água e qualidade da mesma; Geografia estudou a relação da água nas regiões; História estudou a relação da água para a sociedade e responsabilidades políticas e sociais; Língua Portuguesa com textos enriquecidos aos políticos pela preservação da qualidade da água e, finalmente, a Matemática fechou com gráficos e tabelas destacando a escassez da água em regiões e as possíveis causas, analisando e interpretando os dados obtidos através de pesquisas estatísticas.

Pergunta 7: Você acha que a TC pode ajudar a entender as mudanças climáticas globais?

Quadro 8 - A TC e a compreensão sobre as mudanças climáticas globais

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	Com certeza!
F.T.G.M.	Podem. Com certeza.
M.V.A.	Sim.
J.C.S.	Claro! Por exemplo, não tem como se falar do Pantanal sem falar da importância da água: se não tiver água, não se tem o peixe... sem o peixe, não se tem o pássaro... Se houver qualquer problema na diminuição do regime das águas no Pantanal, imagine qual não vai ser a catástrofe – vegetação, animais...
P.A.N.	Ah, sim. E como. Eu tenho certeza que, depois daqueles dias, daquele curso... eu tenho uma nova forma de abordagem. (...) Tenho certeza de que vai atingir mais, porque eu já tenho um conhecimento melhor de como trabalhar.
S.C.P.	Após o curso, posso dizer que é a maneira mais rápida e eficaz para esclarecimentos sobre as mudanças, pois foi através dele que tomei conhecimento de vários fatores, até então desconhecidos por mim.
M.S.	Acredito que sim, porém é necessário que haja a cooperação e a responsabilidade de todos os envolvidos no processo para entender e fazer as devidas transformações de hábitos para que as novas gerações possam usufruir com mais qualidade de vida.

Pergunta 8: Você acredita ser possível inserir alguns conceitos de complexidade na sua disciplina?

Quadro 9 - A possibilidade de inserção de conceitos da TC na educação básica

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	Acho que a complexidade tem que vir, porque tem que vir lá da base pra explicar o fenômeno, porque se você explica só o fenômeno... (...) Na verdade, quando se está explicando um assunto, tudo vira complexo. Porque não adianta só se falar do ocorrido.
F.T.G.M.	Na minha dá. Bastante. (...) Dá pra trabalhar em todos os conteúdos (disciplinas).
M.V.A.	Na verdade, a forma como vocês abordaram mostrou que não existe uma área. Existe uma preocupação. Do indivíduo... E ele vai trabalhar em todas as áreas.
J.C.S.	Ainda não pensei nisso.
P.A.N.	Tem muita coisa. Ainda estou com um pouco de dificuldade, pra falar claramente com você...
S.C.P.	Evidente que sim, em especial no 2º ano, onde trabalho os conceitos de termoquímica, concentração e cinética.
M.S.	Sempre é possível trabalhar os conceitos da TC em Matemática.

Pergunta 9: Você já pensou em alguma proposta para trabalhar a complexidade na sua disciplina?

Quadro 10 - Os projetos após o curso de extensão

Entrevistado	Resposta
L.M.S.	Quase tudo! Aquele filme que foi passado (Uma verdade inconveniente) eu já tinha visto (...) Eu acho que, praticamente tudo do que foi passado no curso, nos dias que assisti, dá pra ser usado na minha sala de aula
F.T.G.M.	Na verdade a gente queria fazer um projeto, até com a sua ajuda, pra

	<p>ser iniciado... Colocar o aluno para pesquisar, pô-lo mais em contato com pesquisa mesmo. Um projeto de pesquisa. Não em cima de leitura, mas em cima da prática, com aulas de campo... Para que ele pudesse desenvolver ao longo do ano um projeto que culminasse na mostra do trabalho (na semana cultural). Essa foi a (idéia)... Pelo menos...</p>
M.V.A.	<p>Esse é o primeiro plano. Não colocar isso dentro da grade curricular, porque pra nós também é algo novo. Não dá pra fazer uma proposta sem antes experimentar: como seria a receptividade, como nós iríamos trabalhar... acertos, erros... pra depois tentar uma proposta maior que seria alterar o nosso currículo escolar</p>
J.C.S.	<p>O único pensamento nosso, nesse primeiro momento, foi realizar essas atividades bimestrais onde procuraremos envolver todos. É uma idéia. Já colocamos no planejamento (para o próximo ano). Vai constar: que trabalharemos temas por bimestre. Por enquanto foi isso. Ficou organizado assim: água no 1º bimestre, energia no 2º, ar no 3º e solo no 4º. São assuntos que abrangem tanto as ciências quanto a geografia e as outras disciplinas.</p>
P.A.N.	<p>Estamos pensando em trabalhar mais integrados. (...) Um colega, coordenador da área de matemática convidou os outros e, achamos que foi válido. O que me chamou muito a atenção é que nós somos muito como “gavetinhas”: trabalhamos tudo isolados. E se você trabalha tudo isolado você não atinge... (os alunos?). Estamos com uma proposta... Já sentamos: geografia, ciências e matemática, pra gente começar a fazer esse trabalho. Pra não ficar tão “picado”.</p>
S.C.P.	<p>Como proposta, gostaria que a nossa escola colocasse a TEORIA da COMPLEXIDADE como tema da feira cultural,abrangendo deste as séries iniciais, porém buscando envolver os alunos desde o começo do ano letivo, e não somente na semana cultural.</p>
M.S.	<p>Não explicitou a resposta.</p>

Algumas considerações são possíveis acerca das respostas apresentadas.

A primeira questão buscava identificar a componente curricular de atuação dos professores entrevistados e o tempo de docência à frente dessas disciplinas. Diante do universo de participantes que concluíram o curso de extensão, não havia a pretensão de conseguir entrevistar representantes de todas as componentes curriculares convidadas, mas a ausência de professores de Ciências pareceu suficientemente relevante, considerando que os membros desse grupo mantiveram a frequência ao longo do evento. Verificando junto à direção da escola, constatou-se que, das quatro professoras que assistiram ao curso, uma desempenha função pedagógico-administrativa na instituição há vários anos (o que inviabilizaria os objetivos da entrevista, já que a mesma não estava efetivamente em sala de aula), outra havia se desligado da instituição no período em que os relatos foram coletados, restando apenas duas professoras que poderiam colaborar com as questões.

Dessa forma, podemos atualizar o quadro 1 com as componentes curriculares dos professores entrevistados nos respectivos anos de cada nível de ensino.

Quadro 11 - Disciplinas e séries (anos) de atuação dos entrevistados

Anos	Nível Fundamental					Nível Médio		
	5°	6°	7°	8°	9°	1°	2°	3°
Componente	Geog. (L.M.S.)	Geog. (P.A.N.)	Geog. (P.A.N.)	-	-	Biol. (F.T.G.M.)	Biol. (F.T.G.M.)	-
Curricular	-	Mat. (J.C.S.)	-	Mat. (M.S.)	Mat. (M.S.)	Quím. (S.C.P.)	Quím. (S.C.P.)	Quím. (M.V.A.)

Assim, foi possível verificar que o conjunto de professores realmente compreende a variedade de séries nas quais os conceitos trabalhados no curso, podem ser abordados, permitindo pelo menos um parecer por ano escolar sobre os fatos questionados na entrevista.

Observando a experiência docente dos entrevistados, confirmou-se a suspeita de que esses professores têm, em média, mais de uma década à frente dessas disciplinas. Esse fato merece ser lembrado ao se interpretar as respostas seguintes.

A segunda pergunta tinha por objetivo sondar a receptividade do curso pelos professores participantes. Em virtude do uso recorrente de advérbios de intensidade (muito bom, bastante produtivo, etc.) e dos adjetivos escolhidos: “excelente”, “estimulante”, “didático”, parece pouco arriscado inferir que os professores entrevistados, em sua totalidade, simpatizaram com a proposta do curso. As respostas, entretanto, apontam mais do que a aceitação do curso. Os entrevistados, além de avaliar positivamente a metodologia dos ministrantes (“bem orientado”, “claro”, “dinâmico”, “interdisciplinar”...), sugeriram, em suas falas, indícios da assimilação de informações e mudanças em seus fazeres pedagógicos:

“Aprendi muitas coisas que não sabia.” (P.A.N.)

“Achei bastante produtivo, a nível até de mudanças, pra mim, de metodologias, de conceitos, de informações de outras áreas que interagiram comigo.” (F.T.G.M.)

“Acho que foi um ponto de partida até para a mudança na postura do nosso planejamento.” (J.C.S.)

Em algumas respostas notam-se certos pré-conceitos por parte da direção, responsável por convidar os professores ao curso, e pelos próprios professores, que viam com ressalvas a apresentação de um curso com temática multidisciplinar por docentes em física:

“Quando falaram do curso pra gente, ficou parecendo que era mais pro pessoal do 2º grau, parecia que o pessoal tinha que ter um QI mais elevado pra isso: “ah, convidaram vocês... mas é para o pessoal de química, física...”. (L.M.S.)

“Inicialmente a idéia, como não conhecíamos muito a fundo do que se tratava, não foi dada muita importância” (J.C.S.)

“No começo eu achei que não seria muito voltado para a minha área, porque lembra aquela discussão: “professores de física dando um curso...”, eu achei que seria mais voltado para a área de física...” (F.T.G.M.)

Nas respostas às questões seguintes é possível encontrar evidências destas concepções prévias e do obstáculo da fragmentação do conhecimento. Como M.V.A. antecipa: “(o curso) nos proporcionou a possibilidade de ver a Ciência como um todo, não a Física, mas a Ciência...”

As professoras S.C.P. e M.S. demonstraram o desejo de que o curso tivesse uma continuidade: “gostaria que tivesse mais” e “... despertando nos participantes vontade de querer mais”, respectivamente. Aliás, incremento na duração e na abrangência do evento foram as sugestões mais freqüentes quando os entrevistados foram questionados sobre as mudanças que gostariam. A fala de M.S. parece sintetizar o anseio da maioria:

“Considerando que o tema do Curso é de extrema importância para a sociedade em geral, poderia ser um curso com maior duração (S.C.P.), envolver todas as áreas do conhecimento (L.M.S., M.V.A. e J.C.S.), bem como envolver também educadores das escolas públicas estaduais (L.M.S.)...”

Alguns como L.M.S. e F.T.G.M. foram ainda mais específicas, indicando a semana pedagógica como momento propício para implementar suas sugestões.

Ao averiguar a existência de contato prévio dos entrevistados com a Teoria da Complexidade (quarta pergunta), constatou-se que a maioria desconhecia o tema, com exceção de M.S., S.C.P. e J.C.S. que alegaram ter informações “superficiais” “de alguns conceitos” que já tinham ouvido falar. Como já mostrado, os mapas conceituais elaborados por estes professores e seus colegas realmente não sugerem a existência de subsunçores ou a incorporação de conceitos específicos da TC.

Mesmo desconhecendo a abordagem complexa dos fenômenos naturais pela TC, todos os entrevistados admitiram tratar em suas aulas de assuntos relacionados às mudanças climáticas globais (quinta pergunta). Porém, na ausência do embasamento da TC, tópicos como a exploração desordenada dos recursos naturais (P.A.N.), queimadas (L.M.S.), poluição (S.C.P.), chuvas ácidas (F.T.G.M.) e até possíveis mudanças na duração e ocorrência das estações (P.A.N.) parecem ser trabalhados de forma individual e desconexa (sexta pergunta). A escassez e o desperdício de água e os problemas decorrentes do crescimento urbano são explorados sob diferentes pontos de vista, amparados pelo que parece ser um projeto encampado por várias disciplinas, mas ainda em termos de causa e efeito. “Desmatamento” e “efeito estufa” foram citados como pontos comuns no planejamento de professores do ensino fundamental (L.M.S., M.S.) e médio (S.C.P. e F.T.G.M.), mas não é possível afirmar se há um aprofundamento do que é visto em séries anteriores, ou mesmo se as disciplinas os aproveitam para estabelecer relações

entre si. Parece não haver, portanto, um plano de estudo para os fenômenos relacionados às mudanças climáticas globais ou um histórico que indique uma abordagem sistêmica destes.

Todos os entrevistados foram enfáticos em concordar que a TC pode ajudar a entender as mudanças climáticas globais (sétima questão), mas não há consenso em como introduzir essa temática em suas componentes curriculares (oitava pergunta). Na verdade, as respostas apresentadas variam da insegurança sincera do “ainda não pensei nisso” (J.C.S.) e “tem muita coisa, mas ainda tenho dificuldade em falar sobre isso” (P.A.N.), à fé do “evidente que sim (...)” (S.C.P.) ou “sempre é possível trabalhar os conceitos da TC...” (M.S.). Com certa dificuldade, as representantes das séries mais afastadas entre si (4º ano/EF e 3º ano/EM), parecem expressar o entendimento de que a TC não implica apenas na introdução de novos conceitos, mas numa nova abordagem para os fenômenos naturais diferente da fragmentação vigente:

“Acho que a complexidade tem que vir. Temos que vir da "base" para explicar o fenômeno e não apenas ele. (...) Não adianta só se falar do ocorrido.” (L.M.S.)

“A forma como foi abordado mostrou que não existe uma área. Existe uma preocupação.” (M.V.A.)

Essa hipótese é reforçada pelas respostas à última pergunta. Os entrevistados não se preocuparam em apresentar propostas individuais de reestruturação das suas disciplinas, pelo contrário, de forma distinta entre si, os grupos do ensino fundamental e médio expressaram o interesse em desenvolver ações pedagógicas com vínculos mais estreitos entre as áreas do conhecimento: “estamos pensando em trabalhar mais integrados.” (P.A.N.)

As palavras da professora M.V.A. exprimem esse mix, entre a inquietação decorrente das discussões sobre a TC e o receio advindo da novidade:

“Esse é o primeiro plano. Não colocar isso dentro da grade curricular, porque pra nós também é algo novo. Não dá pra fazer uma proposta sem antes experimentar: como seria a receptividade, como nós iríamos trabalhar... acertos, erros... pra depois tentar uma proposta maior que seria alterar o nosso currículo escolar”.

As respostas dadas pelos professores clarificam que o contexto de ensino e aprendizagem no qual se inserem enquanto profissionais passa a ser revisitado reflexivamente e há fortes indicativos de que eles perceberam que as mudanças climáticas embora seja um tema atual e importante, requerem para a sua compreensão que conceitos científicos sejam aprendidos de maneira significativa. Reconhecem ainda, que a TC embora se configure como uma nova visão científica, não se refere a uma série do ensino médio ou fundamental, ou uma área específica, apresentando um caráter interdisciplinar, atendendo as disposições dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), sendo importante para a compreensão efetiva dos fenômenos relacionados aos problemas que a humanidade enfrenta na atualidade.

4.4. A TURMA DO MESTRADO

Como já foi mencionado, o curso ministrado aos professores teve como fundamentos teóricos e metodológicos a disciplina Teoria da Complexidade Aplicada ao Estudo do Meio Ambiente. Ao término da disciplina na turma de 2008 do mestrado em Física Ambiental da UFMT, solicitou-se aos alunos que confeccionassem um mapa conceitual contendo os principais conceitos da disciplina e que fizessem uma redação explicando os conceitos presentes em seus mapas.

Para analisar o desempenho dos mestrandos nessa atividade, foram selecionados seis mapas conceituais que se mostraram representativos, os quais são apresentados nas figuras 37 a 42.

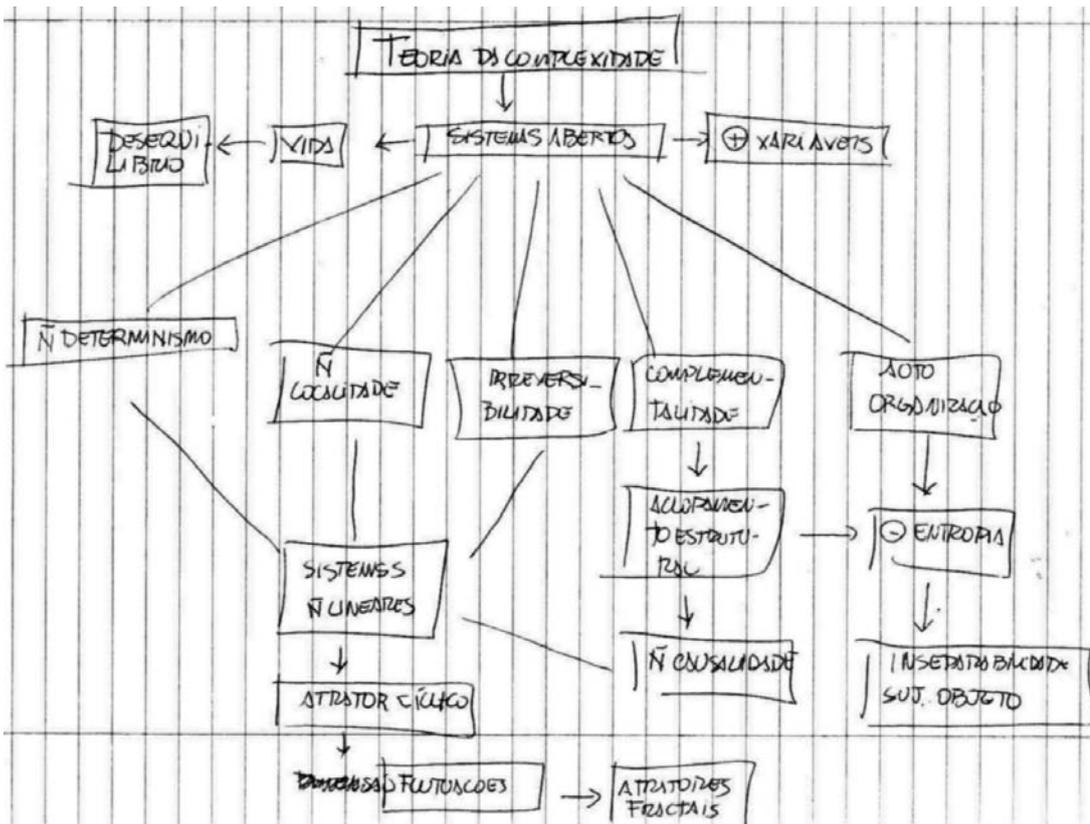


Figura 37 – Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (01)

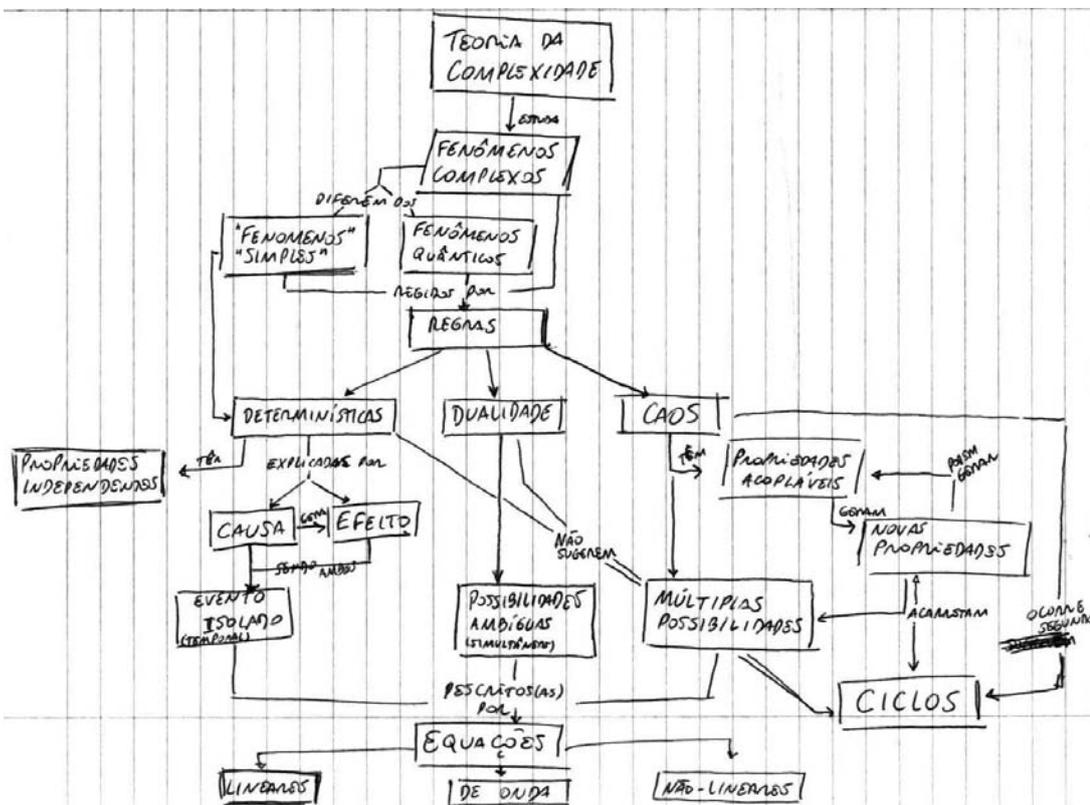


Figura 38 – Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (02)

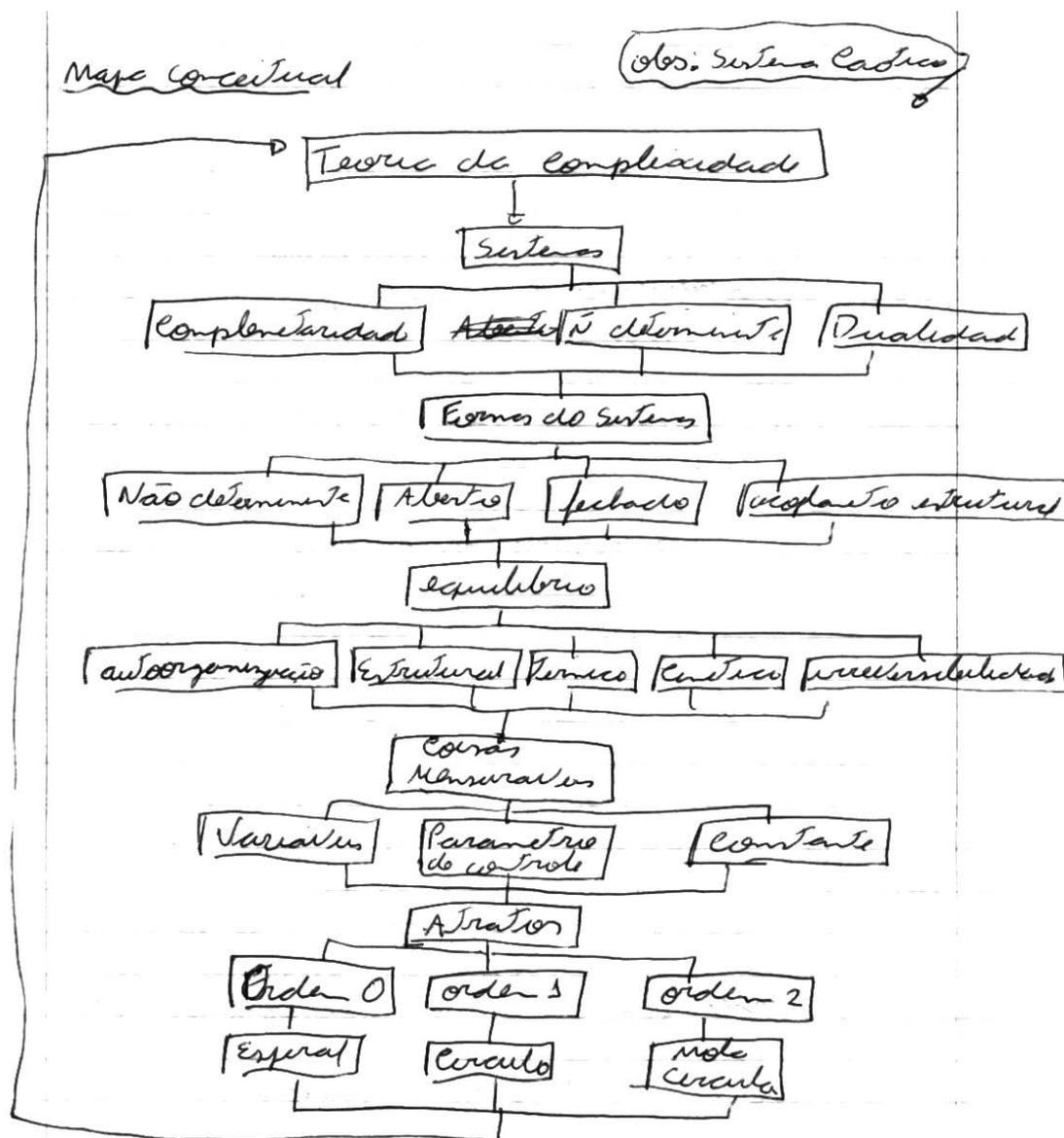


Figura 39 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (03)

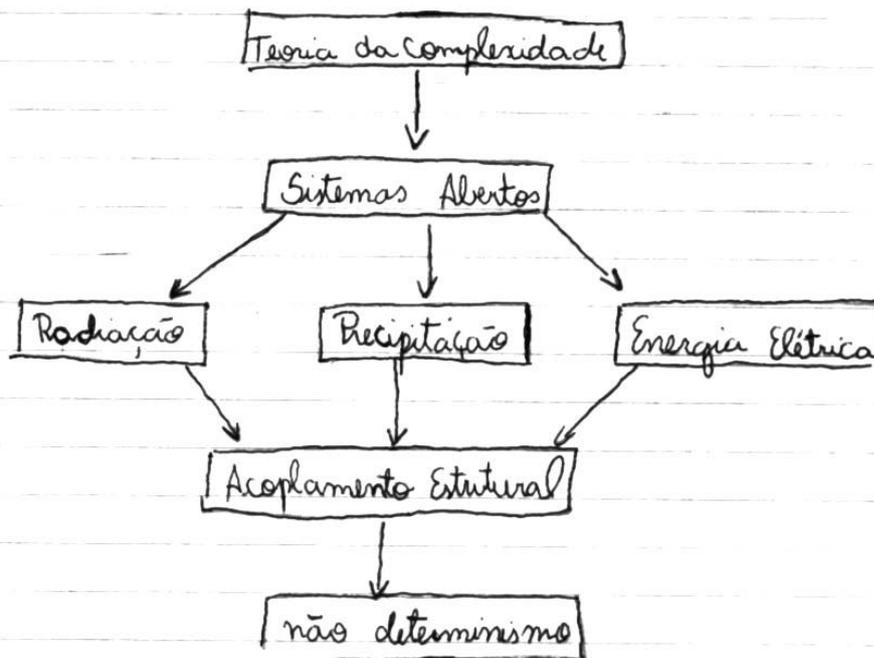


Figura 40 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (04)

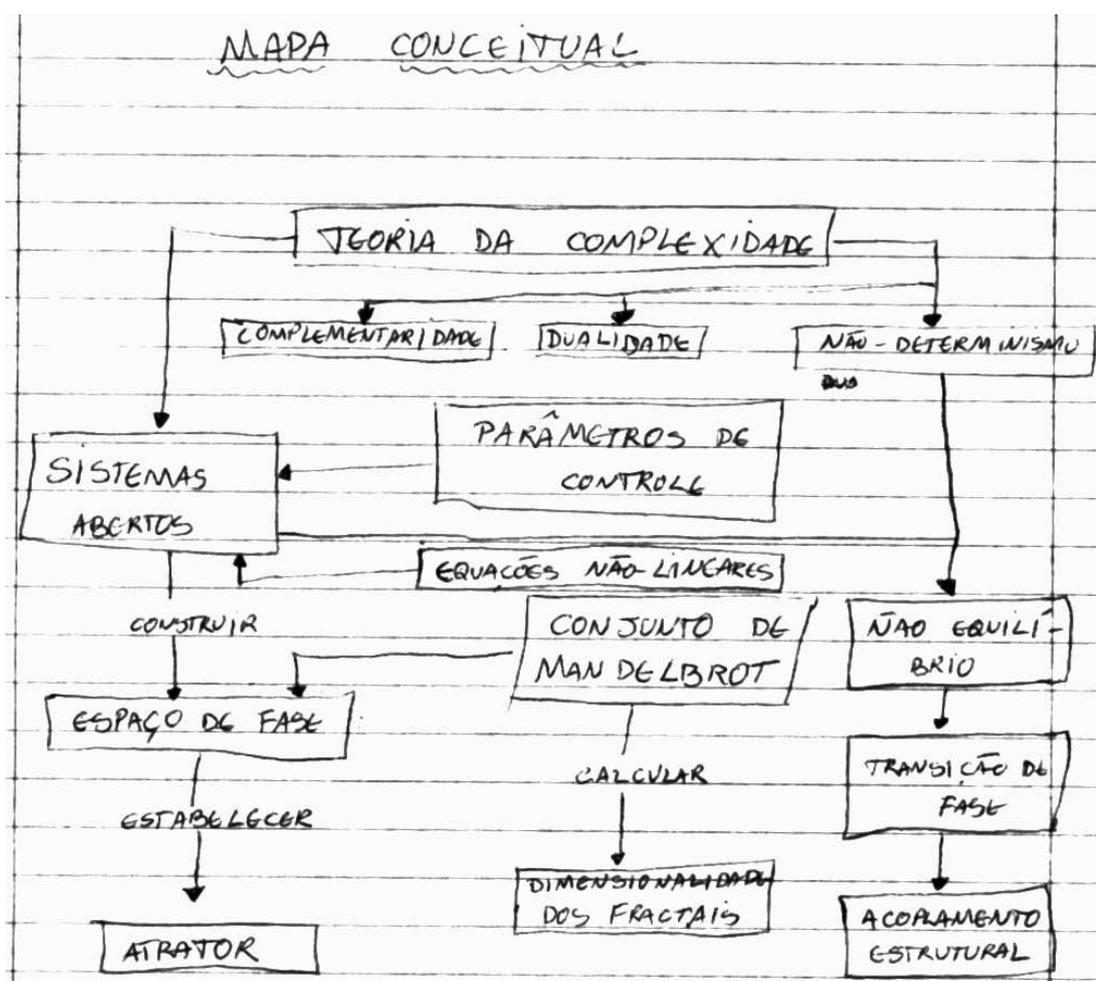


Figura 41 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (05)

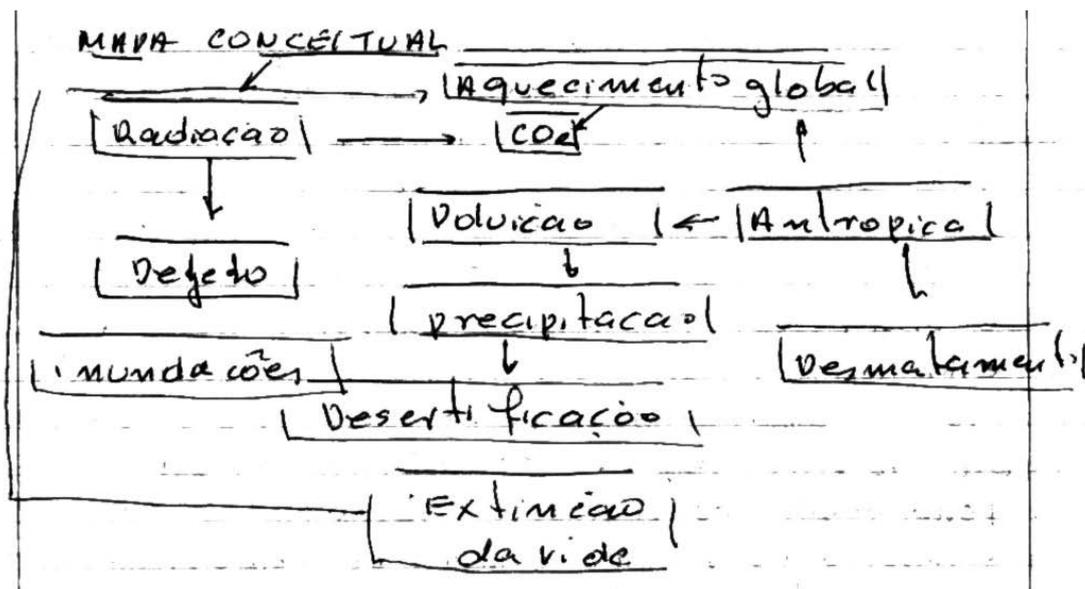


Figura 42 - Mapa conceitual elaborado por aluno da PGFA (06)

Pode-se observar que, de um modo geral, os mapas são relativamente ricos no que diz respeito ao número de importantes conceitos da TC apresentados, com exceção do mapa 04, que é muito simplificado, e do mapa 06, em que o autor se ateu mais a questões das mudanças climáticas globais do que propriamente com a TC.

Pode-se destacar, também, que nem todos podem ser considerados mapas conceituais propriamente ditos, como o 03, de acordo com o que é estabelecido na Teoria da Aprendizagem Significativa, mas, neste trabalho, vamos nos ater a analisar que conceitos foram destacados e a interligação entre os mesmos.

Nesse aspecto, os mapas 01, 02, 03 e 05 são ricos em conceitos específicos da TC, o que não foi observado no caso do curso de extensão. Um aspecto importante desse fato foi a associação do termo “teoria da complexidade” com os sistemas abertos – o que pode ser claramente observado nos mapas 01 e 05 e mesmo no mapa 04, que apresenta uma quantidade reduzida de conceitos. Já no mapa 03, a distinção entre sistemas abertos e fechados é apresentada em sua parte central e, no mapa 02, as leis de causa e efeito aparecem como propriedades de “eventos isolados”. Esse ponto é importante uma vez que a TC é a teoria que essencialmente lida com sistemas abertos, sendo esse um de seus conceitos mais importantes.

É claro que os mapas dão maior ou menor destaque a aspectos diferentes da TC. O mapa 02 salienta mais as diferenças entre fenômenos determinísticos próprios de sistemas isolados e as “múltiplas possibilidades”, próprias de sistemas complexos, bem como as regras e formalismo próprio da TC, regido por equações diferenciais não lineares. Uma ênfase semelhante aparece no mapa 05.

Já no mapa 01 são destacados o desequilíbrio, o não determinismo, a não localidade, a irreversibilidade e a auto-organização como propriedades inerentes dos sistemas abertos, o que corresponde a uma caracterização bastante completa dos sistemas complexos. Neste mapa, também é destacada a diminuição de entropia caracterizando o processo de auto-organização, o acoplamento estrutural e os atratores fractais.

O “mapa” 03, com uma estrutura esquemática, revela uma preocupação com a classificação de conceitos, sugerindo uma hierarquia de maior ou menor inclusividade entre alguns deles, como, por exemplo, na base do “mapa”, com o elenco de diferentes tipos de atratores, com respectivos exemplos. Apesar de seu caráter de “esquema conceitual”, é bastante completo.

Assim, de um modo geral, pode-se inferir que as 60 horas da disciplina do curso de mestrado oportunizaram uma boa assimilação dos conceitos pertinentes à teoria, bem como uma estruturação conceitual coerente.

Tal inferência é corroborada pelos textos produzidos pelos mestrandos que acompanharam os mapas conceituais.

O autor do mapa 04, no texto, destaca explicitamente a definição da TC como a teoria que estuda os sistemas abertos, possivelmente a definição mais fidedigna da TC:

A Teoria da Complexidade é uma ciência que estuda os sistemas abertos (...) onde ocorre uma constante troca de energias influenciada pelos diversos sistemas envolvidos.

Além disso, ele entendeu a característica fundamental dos sistemas abertos, que é a troca de energia com o entorno. E, ainda, que tais trocas estabelecem o acoplamento estrutural entre sistema e meio:

O Acoplamento Estrutural consiste em estudar um fenômeno como um todo considerando a inseparabilidade entre sujeito e objeto.

A compreensão fundamental da associação da TC com os sistemas abertos aparece em vários outros textos, como o do autor do mapa 01, que identifica os fenômenos naturais como próprios de sistemas abertos e elenca as características fundamentais de tais fenômenos:

A teoria da complexidade estuda os fenômenos que ocorrem em sistemas abertos, considerando o maior número de variáveis. Os fenômenos naturais ocorrem dentro desses sistemas abertos. Esses fenômenos são caracterizados pelo “não determinismo”, uma vez que não se prevê com exatidão onde ocorrerão as bifurcações, pela “não localidade”, pois também não se pode determinar onde o fenômeno começa, pela “irreversibilidade”, uma vez que através do resultado final não se consegue chegar ao início do fenômeno, pela “complementaridade”, onde diferentes fenômenos se estruturam de forma de criar condições para a vida, e pela “auto-organização”, onde estruturas desorganizadas se interrelacionam e se organizam com o passar do tempo.

Além disso, como se pode observar no texto, esse mestrando define “auto-organização”, conectando o conceito à organização de estruturas.

Já outros mestrandos deram maior ênfase ao formalismo da TC e à mudança de paradigma, ou visão de mundo, por ela proporcionada, como o autor do mapa 02:

Normalmente imaginamos as situações naturais como relações entre “causa” e “efeito”: um determinado evento gerando um resultado que é facilmente associado ao primeiro. Por “facilmente” entenda-se: “Temos clareza da relação associativa”. Na verdade, essa clareza, facilidade ou objetividade são frutos mais de uma lógica linear a qual fomos acostumados, do que propriamente uma característica das situações naturais. Esse determinismo é muito confortável, uma vez que nos diz que podemos antever os resultados, os eventos futuros com precisão inquestionável. Entretanto, sabemos que uma observação mais atenta de fenômenos comuns nos mostraria que há, em geral, não resultados únicos de eventos isolados mas possibilidades decorrentes destes. (...) Com certeza é uma premissa assustadora (ou pelo menos, não tão confortável quanto um estado de regras causais diretas). (...) Os padrões a que estávamos "presos" não são suficientes para explicar a gama de

fenômenos que observamos. Devemos aprender, então, que: a) ocasionalmente podemos lidar com situações nas quais os resultados podem ser objetivamente previstos em decorrência de eventos geradores; b) normalmente teremos de trabalhar com possibilidades; e c) nem sempre teremos sucesso em antecipar eventos futuros (ou buscar “causas” primeiras) em virtude da complexidade inerente aos mesmos.

Em seguida, o autor desse mapa enumera, como principais conceitos da TC, a não-previsibilidade, a não-linearidade, o acoplamento estrutural e os fenômenos cíclicos.

A mesma atenção com os aspectos formais e com a transição entre os fenômenos determinísticos para os não determinísticos foi também demonstrada pelo autor do mapa 05:

Os parâmetros (de controle) adotados por sistemas para a transição de fase de um regime determinístico para um regime quântico, ou seja, das bifurcações e daí para o regime caótico, são primordiais para o estabelecimento de probabilidades.

Por fim, o autor desse mapa associa as características dos sistemas abertos à vida.

Portanto, o determinismo se estabelece numa região pouco provável para o meio ambiente, porém, o não determinismo, a complementaridade e a dualidade já contemplam a vida.

Já outros mestrandos, como o autor do mapa 03, produziram, no lugar de um texto como foi solicitado, um esquema com as definições dos principais conceitos da TC. Contudo, mesmo nesses casos, observa-se uma coerência na apresentação dessas definições, em conformidade com os preceitos da teoria.

De um modo geral, levando-se em consideração tantos os mapas quanto os textos, conclui-se que a disciplina do mestrado foi suficiente para a assimilação dos principais conceitos da Teoria da Complexidade para a turma analisada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme destacado no capítulo I, as mudanças climáticas em escala global têm acirrado a necessidade de compreensão dos fenômenos ambientais, na busca de soluções para os problemas que hora se apresentam. A Teoria da Complexidade exhibe um conjunto de conhecimentos que parte do princípio de que os sistemas abertos, como a atmosfera e os ecossistemas, assim como suas relações, precisam ser mais bem compreendidos. Nesse contexto, optou-se por um curso de extensão universitária que propiciasse aos professores da educação básica o contato inicial com esses conhecimentos, permitindo-lhes assimilar as pesquisas mais recentes e atuarem como agentes de educação científica-ambiental.

A princípio trabalhou-se com a hipótese de que os professores com sua larga experiência na educação básica e já tendo certo domínio na elaboração de MC, pudessem não só acompanhar o curso mas apresentariam resultados próximos aos dos mestrandos, pelo menos acerca dos temas trabalhados. Contudo, os MC apresentados por eles, bem como as entrevistas, clarificam que há um certo “apego” aos conhecimentos já estabelecidos, o que é compreensível, uma vez que são utilizados para abordar em sala-de-aula temas relacionados ao meio ambiente (ainda que de maneira fragmentada). Na perspectiva ausubeliana, podemos inferir que eles se encontram na fase de assimilação e retenção, onde os novos conceitos ou idéias podem se encontrar dissociados dos subsunçores e os conhecimentos pré-estabelecidos se mostrarem mais relevantes, face à sua maior estabilidade na estrutura cognitiva.

Embora as aulas tenham sido planejadas e executadas à luz dos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC), o tempo entre a recepção, percepção e assimilação de novas ideias ou conceitos é uma variável preponderante na dinâmica da aprendizagem significativa. Os mestrandos tinham esse fator a seu favor, já que a disciplina na PGFA tem uma carga horária maior.

Quanto à possibilidade de inserção de tópicos de TC na educação básica, os dados da pesquisa, em especial a entrevista semi-estruturada, sugerem que a TC traz conhecimentos que podem ser implementados em várias séries e muitos professores apresentam disposição para fazê-lo em suas disciplinas. Trabalhos futuros poderiam investigar quais os conteúdos das componentes curriculares são mais propícios à introdução desses conhecimentos.

A metodologia utilizada permitiu aos professores refletirem sobre sua prática, mostrando que as estratégias pedagógicas fundamentadas em uma teoria de aprendizagem, especialmente a TAS e a TASC, tornam as aulas mais agradáveis e eficientes.

Diante dos resultados, acredita-se que o objetivo desta proposta tenha sido cumprido, uma vez que a transposição didática de tópicos relativos à Física Ambiental no nível fundamental e médio, em específico os conhecimentos da TC, se mostrou viável. Nesse sentido, novas experiências de ensino deveriam ser consideradas, tanto na formação inicial quanto na capacitação posterior dos professores da educação básica, prioritariamente os da área de Ciências da Natureza e Matemática, mas sem descartar a possibilidade de extensão para outras licenciaturas, como no caso da Geografia, que já apresenta referências à TC (LIMBERGER, 2006).

A criação de uma linha de pesquisa em ensino de Física Ambiental não só contribuiria para a efetivação da educação científica-ambiental citada, como poderia estimular o estreitamento da relação academia-sociedade, garantindo, por exemplo, a decodificação e propagação dos saberes científicos. Fato é que o manejo de recursos naturais, os fenômenos ambientais e suas alterações requerem mais do que uma consciência ambiental ingênua, mas a apropriação de um conhecimento científico elaborado e sistêmico, como a própria natureza.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1. BIBLIOGRAFIA CITADA

ALMEIDA, R. M. C. – **A Ciência da Complexidade**. Física na Escola, v. 6, n. 1, f. 48-53. 2005.

AUSUBEL, D. P. - **The Psychology of Meaningful Verbal Learning**. New York: Grune & Stratton. 1963. 255f.

AUSUBEL, D. P. - **The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view**. Dordrecht: Kluver Academic Publishers. 2000. 212f.

BATISTELLA, M.; ALVES, D.; ARTAXO, P.; BUSTAMANTE, M.; KELLER, M.; LUIZÃO, F.; MARENGO, J. A.; MARTINELLI, L.; NOBRE, C. A. - **Plano Científico LBA2 – Programa De Pesquisas Sobre Interações Biosfera-Atmosfera Na Amazônia**. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2007.

BIGLIARDI, R. V. ; CRUZ, R. G. - **A Teoria da Complexidade como Base para o Enfrentamento da Crise Ambiental e da Racionalidade Teórico Instrumental**. Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, v. 15, f. 149-156, 2005.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. – **Investigação qualitativa em educação**. Porto. Portugal. Porto Editora. 1994. 338f.

CAPRA, F. – **A teia da vida – uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo. Ed. Cultrix. 1996. 258f.

_____. – **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável.** São Paulo. Ed. Cultrix. 2005. 298f

DINIZ, E.M.; TOMAZELLO, M. G. C. - **A pedagogia da complexidade e o ensino de conteúdos atitudinais em Educação Ambiental.** Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental. Rio Grande/RS, v. 15, n. 1, f. 80-93. 2005.

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS (CBPF). **Sistemas Complexos - A fronteira entre a ordem e o caos.** Rio de Janeiro, RJ, 2005. 2f.

FIEDLER-FERRARA JUNIOR, N -. **O pensar complexo: construção de um novo paradigma.** In: XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003, Curitiba. Atas do XV Encontro Nacional de Ensino de Física, 2003. p. 69-81.

FIEDLER-FERRARA, N. - **Quando o todo é mais sagaz do que a soma de suas partes.** Scientiæ studia, São Paulo, v. 3, n. 2, f. 323-37, 2005.

GUIMARÃES, M. A. - **Cladogramas, Evolução e Ensino de Biologia.** 1. ed. Rio de Janeiro. Corifeu. 2007. v. 1. 100f.

HOFFMANN, G.; FIEDLER-FERRARA, N. - **Explorando complexidade com alunos de licenciatura e bacharelado em física.** XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003, Curitiba. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003. f. 2011-2021.

HOUGHTON, J. – **The Physics of Atmospheres** – Cambridge University Press, 2002.

KUHN, T. S. - **A Estrutura das Revoluções Científicas.** Editora Perspectiva. 1962.

LOVELOCK, J. – **The Ages of Gaia** – W.W.Norton, New York, 1995.

LIMBERGER, L. - **Abordagem Sistêmica e Complexidade na Geografia.** Geografia (Londrina), v. 15, f. 95-109, 2006.

MOREIRA, M. A – **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. Actas del II Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos: Universidad de Burgos, 1997. f. 19-44.

_____. – **Aprendizagem significativa**. Editora Universidade de Brasília, Brasília. 1999.

_____ – **Aprendizagem significativa crítica**. Porto Alegre. 2005. 47f.

MORIN, E. - **Os sete saberes necessários à educação do future**. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: Unesco, 2000.116f.

NICOLIS, G.; PRIGOGINE I.– **Exploring Complexity** – W.H.Freeman, New York, 1989.

PALLAZO L. - **Complexidade, Caos e Auto-organização**. Universidade Católica de Pelotas. 2005. Disponível em <http://ia.ucpel.tche.br/~lpalazzo/Aulas/IA/m09/m09.htm>

PAULO, I. J. C. - **A Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhagen e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2006. 235f. Tese (Doutorado em Enseñanza de las Ciencias), Universidad de Burgos. Burgos. Espanha. 2006.

PAULO, S. R. ; PAULO, I. J. C. ; RINALDI, C. - . **Bases conceituais e filosóficas para uma proposta de reestruturação curricular da Educação em Ciências no Ensino Médio**. Grupo de Pesquisa em Ensino de Física – IF – UFMT. 2002 (Artigo Científico em Preparação)

PESSOA JR., O. - **Auto-Organização e Complexidade: Uma Introdução Histórica e Crítica**. Universidade Federal da Bahia/Universidade Estadual de Feira

de Santana. Salvador. 2001. Disponível em <http://www.fflch.usp.br/df/opessoa/AO&C-tex.pdf>

PRIGOGINE, I – **As leis do caos**. São Paulo. Editora UNESP. 1996. 202f.

_____. – **O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza**. São Paulo. Editora UNESP. 2002. 114f.

UEMA, S. N.; FIEDLER-FERRARA, N. - **Atividades curtas multi-abordagem para o ensino médio: trabalhando o conceito de dependência sensível às condições iniciais**. IX Encontro Nacional De Pesquisa Em Ensino De Física. Curitiba. 2003. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2003. f. 2980-2990

WALDROP, M. M. – **Complexity, the Emerging Science at the Edge of Order and Chaos** – Touchstone, New York, 1992.

6.2. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BASTOS FILHO, J. B. - **Reduccionismo (uma abordagem epistemológica)**. Maceió. Editora da Universidade Federal de Alagoas (EDUFAL), 2005. v. 1. 142 f.

_____. - **Causalidade, (in)determinismo e (im)previsibilidade: por que o conceito de causa é tão importante?** .Rev. Bras. Ens. Fis., jul./set. 2008, vol.30, n° 3, f. 3304.1-3304.12.

BELLINI, L. M. - **Educação ambiental como educação científica no processo educativo escolar**. Educar, Curitiba, n. 19, f. 99-110. 2002. Editora da UFPR.

BRASIL. Ministério da Educação. - **Orientações curriculares para o ensino médio - volume 2: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Secretaria de Educação Básica. Brasília. 2006.

GLEICK, J. – **Caos: a criação de uma nova ciência**. Rio de Janeiro. Ed. Elsevier / Campus. 1989. 316f.

JACOBI, P. R. -. **Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo**. Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 31, n. 2, f. 234-250, 2005.

KOKUBUN, F. - **Complexidade versus Simplicidade na Física**. Rev. Eletrônica Mest. Educ. Ambien. v. especial, f. 110-117. 2004

KURTZ DOS SANTOS, A. C. - **Algumas idéias sobre universo, vida e complexidade**. Revista Eletrônica Espaço Acadêmico, Maringá, v. 33, f. 1-9, 2004.

LOVELOCK, J – **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo. Ed. Cultrix. 2006. 194f.

MARTINS, R. L. C. – **A utilização de mapas conceituais no estudo de física no ensino médio: uma proposta de implementação**. Dissertação (Mestrado). UNB. Brasília. 2006. 188f.

MOREIRA, M. A. – **Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos**. Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos. Burgos. Espanha. Texto de Apoyo n° 19. 2003. 38f.

_____ – **Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal**. Porto Alegre. 2004. <http://www.if.ufrgs.br/~moreira>

_____ – **Mapas conceituais e diagramas V**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. IF. 2006. <http://www.if.ufrgs.br/~moreira>

NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S. – **Diretrizes para elaboração de dissertações e teses no programa de pós-graduação em física ambiental**. Cuiabá. UFMT. 2008

PONTES NETO, J. A. DA S. - **Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel: perguntas e respostas.** I Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa, 2005, Campo Grande. Caderno de Resumos. Campo Grande : Editora UNiderp, 2005. f. 31-31.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. - **A prática do professor e a pesquisa em ensino de física: novos elementos para repensar essa relação.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 22, n. 3, f. 316-337, 2005.

SILVA, C. R. O. – **Metodologia e organização do projeto de pesquisa: guia prático.** Fortaleza. CEFET. 2004.

SILVEIRA, F.L. - **Determinismo, previsibilidade e caos.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.10, n.2: f.137-147, ago.1993.

SOKAL, A. D. – **Imposturas intelectuais.** Rio de Janeiro. Ed. Record. 1999. 326f.

STAIN, J. – **Como a matemática explica o mundo: o poder dos números no cotidiano.** Rio de Janeiro. Ed. Elsevier / Campus. 2008. 290f.

VON BAEYR, H. C. - **A física e o nosso mundo: como entender fenômenos e mistérios através da física.** Rio de Janeiro. Ed. Elsevier / Campus. 2004. 178f.

ANEXOS

APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA



Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

UFMT

Conforme é bastante conhecido, há no Estado de Mato Grosso uma intensa intervenção humana sobre o meio-ambiente, caracterizada pela remoção dos ecossistemas originais para dar lugar à agricultura e à pastagem, além da exploração extensiva da madeira nativa.

Também é conhecido que a ocupação humana no estado tem ocorrido sem uma política que tenha como base estudos de caráter científico sobre o impacto da ação antrópica sobre os ecossistemas.



Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

UFMT

Existe a necessidade de se promover ações no sentido de se aprimorar o conhecimento sobre os aspectos físicos (físico-químicos, biofísicos e geofísicos) do meio-ambiente, bem como sobre os impactos que a ocupação não planejada tem exercido sobre os ecossistemas e os correspondentes reflexos sobre a questão das mudanças climáticas globais.

Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental




O Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental tem como meta contribuir para a redefinição do papel da região no contexto nacional e internacional.




Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental




A curto e longo prazo, a capacitação in loco de profissionais ambientais competentes, que poderão ocupar lugar de responsabilidade a nível dos órgãos estaduais ou federais ou assessorar estes, aumentará a capacidade da sociedade em avaliar o impacto das mudanças ambientais provocadas pela ocupação humana.




Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental




Avanços importantes em Física Ambiental se devem a uma nova abordagem dos fenômenos naturais.

Assumimos que a Natureza apresenta certos comportamentos *complexos* que não podem ser entendidos a partir da análise reducionista.




Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental




bifurcações

transições de fase

sistemas abertos

fluxos

estado estacionário

auto-organização

acompanhamento estrutural

equações não-lineares

fractais

**FUNDAMENTOS DA
TEORIA DA COMPLEXIDADE
PARA VIABILIZAR A
COMPREENSÃO
DAS PESQUISAS EM FÍSICA AMBIENTAL**

instabilidade

mudanças climáticas

hipótese do Gêise

endossimbiose

atropia

efeito estufa

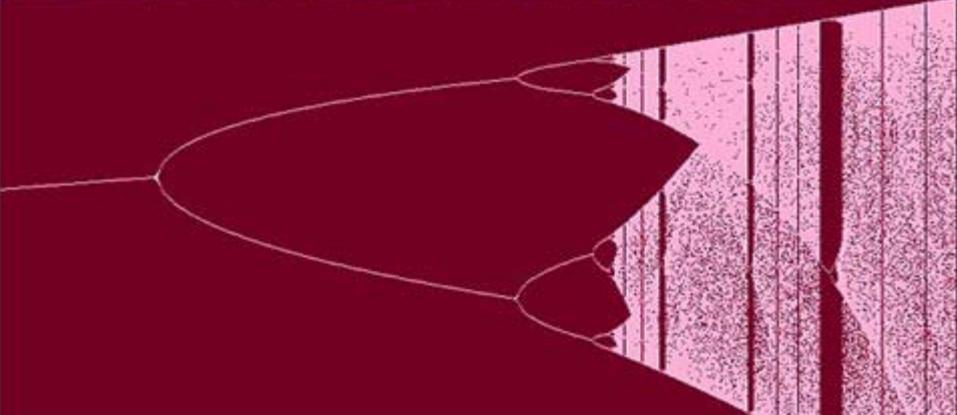
estruturas estranhas

efeito borboleta

caos

Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

UFMT



Vivemos no limite do caos?

Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

UFMT



O que são sistemas abertos?



